

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-297055

(43)Date of publication of application : 18.11.1997

(51)Int.Cl.

G01J 1/02

G01J 1/42

H01J 40/04

(21)Application number : 08-111656

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 02.05.1996

(72)Inventor : SUYAMA MOTOHIRO

KAWAI KATSUHIKO

KIMURA SUENORI

HIRANO MASARU

ASAKURA NORIO

MORITA TETSUYA

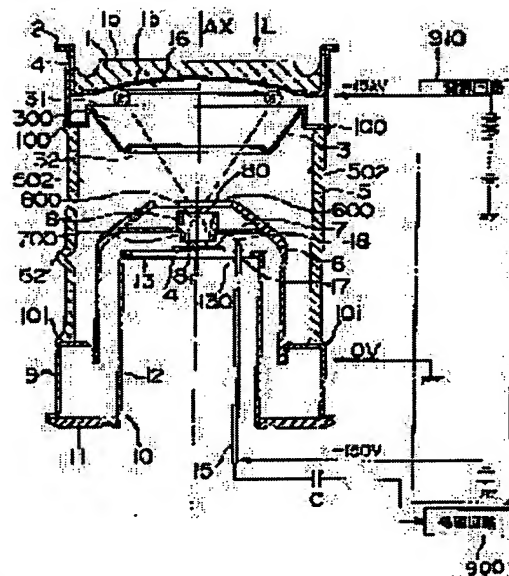
BEST AVAILABLE COPY

## (54) ELECTRON TUBE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain such a structure that can stabilize the orbit of electron accelerated and focused by an electronic lens and effectively suppress the generation of noises due to discharging.

**SOLUTION:** A cathode electrode 3 constituting an electronic lens extends partly toward a stem 10 along an inner wall 502 of an insulation container 5 and its tip end becomes thinner toward the stem 10, so that the tip end of the electrode 3 is apart from the inner wall 502 of the container 5. Thus, the container 5 is prevented from charging, and the discharging together with light emission to the electrode 3 and the container 5 can be suppressed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

30.04.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other  
than the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The container which consists of an insulating ingredient which has the 1st opening, this 1st opening, and the 2nd opening located in the opposite side, The photoelectric surface for being located in a 1st [ of said insulating container ] opening side, and emitting a photoelectron corresponding to the light by which incidence was carried out, The stem for being located in a 2nd [ of said insulating container ] opening side, and specifying the distance of said photoelectric surface and the electronic plane of incidence which the photoelectron emitted from this photoelectric surface reaches, While accelerating the photoelectron which was prepared in the space between said photoelectric surfaces and said stems, and was emitted from this photoelectric surface In the electron tube equipped with the electron lens for completing the orbit of this photoelectron said electron lens The cathode electrode which has a through tube for passing the emitted photoelectron toward said electronic plane of incidence from said photoelectric surface, and has the configuration where the part was prolonged toward said stem in accordance with the wall of said insulating container, It is the electron tube which is equipped with the anode electrode which has opening for passing this cathode electrode and the passed photoelectron toward this electronic plane of incidence, and is characterized by the cross section of said through tube in said cathode electrode being small toward said photoelectric surface to said stem further.

[Claim 2] The container which consists of an insulating ingredient which has the 1st opening, this 1st opening, and the 2nd opening located in the opposite side, While having the photoelectric surface for being located in a 1st [ of said insulating container ] opening side, and emitting a photoelectron corresponding to the light by which incidence was carried out, and the electronic plane of incidence which the photoelectron emitted from said photoelectric surface reaches The semiconductor device arranged so that this electronic plane of incidence may counter with said photoelectric surface, The stem for being located in a 2nd [ of said insulating container ] opening side, and specifying the distance of said photoelectric surface and electronic plane of incidence of said semiconductor device, While accelerating the photoelectron which was prepared in the space between said photoelectric surfaces and said stems, and was emitted from this photoelectric surface In the electron tube equipped with the electron lens for completing the orbit of this photoelectron said electron lens The cathode electrode which has a through tube for passing the emitted photoelectron toward said semiconductor device from said photoelectric surface, and has the configuration where the part was prolonged toward said stem in accordance with the wall of said insulating container, It is the electron tube which is equipped with the anode electrode which has opening for passing this cathode electrode and the passed photoelectron toward this semiconductor device, and is characterized by the cross section of said through tube in said cathode electrode being small toward said photoelectric surface to said stem further.

[Claim 3] Stem side opening of said through tube [ in / the part prolonged toward said stem of said cathode electrode is contained in the building envelope of this insulating container defined by the 1st and 2nd openings of said insulating container, and / this cathode electrode ] is the electron tube according to claim 1 or 2 characterized by being located in the building envelope of this insulating container.

[Claim 4] Said cathode electrode is the electron tube of claim 1-3 characterized by bending a part for the point prolonged in said stem side inside with predetermined curvature given in any 1 term.

[Claim 5] Both openings of stem side opening of the through tube in said cathode electrode while said anode electrode has the configuration where the part was prolonged toward said photoelectric surface in accordance with the wall of said insulating container, and said anode electrode are the electron tube of claim 1-4 characterized by being located in the building envelope of this insulating container defined by said 1st and 2nd openings of said insulating container given in any 1 term.

[Claim 6] The electron tube of claim 1-5 characterized by having a collimator electrode for being the electrode contained by this anode electrode while having the through tube prolonged toward said photoelectric surface to said stem for passing the photoelectron which passed opening of said anode electrode, and correcting the orbit of the photoelectron by which incidence was carried out to this through tube given in any 1 term.

[Claim 7] The cross section of said through tube in said collimator electrode is the electron tube according to claim 6 characterized by being small toward said stem from said photoelectric surface.

[Claim 8] The area of stem side opening of said through tube in said collimator electrode is the electron tube according to claim 6 or 7 characterized by being smaller than said electronic plane of incidence.

[Claim 9] The electron tube of claim 6-8 characterized by having the shield which has opening for contacting an anode electrode and directly [ said ] and holding said collimator electrode to the position in this anode electrode given in any 1 term.

[Claim 10] The area of said opening in said shield is the electron tube according to claim 9 characterized by being smaller than the area of photoelectric-surface side opening of said through tube in said collimator electrode, and being larger than the area of stem side opening of said through tube in this collimator electrode.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the electron tube equipped with the sensing device for detection etc. to carry out the photoelectron especially emitted from the photoelectric surface and this photoelectric surface about the photodetector for measuring a feeble light quantitatively.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, the electron tube which accelerates and converges the photoelectron emitted from the photoelectric surface with an electron lens, and carries out incidence to a semiconductor device by using this photoelectron as a sensing device, for example, acquires high gain is known. This conventional electron tube For example, JP,6-318447,A, JP,5-54849,A, JP,7-320681,A, Or G.A.Johansen and "Operational characteristics of an electron-bombarded silicon-diode photomultiplier It is indicated by tube", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A326 (1993), p.295-298, etc.

[0003] Especially, the electron lens constituted with the plate electrode which has opening for a photoelectron to pass is indicated by above-mentioned JP,6-318447,A and JP,7-320681,A. The electron lens constituted with the cylindrical electrode which has opening for a photoelectron to pass in above-mentioned JP,5-54849,A and Johansen reference on the other hand is indicated.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As mentioned above, in the case of the electron tube with which the electron lens consists of plate-like electrodes, the wall of the container which consists of an insulating ingredient serves as structure exposed to the photoelectron which runs the inside of a vacuum. Therefore, in the electron tube of such structure, an electron orbit is disturbed by electrification of the bulb wall by the stray electron, and the technical problem that a stable output is not obtained occurs.

[0005] Furthermore, as for the case of the electron tube with which the electron lens consists of cylindrical electrodes, pressure-proofing poses a problem as mentioned above. That is, if the electrical potential difference impressed to the photoelectric surface exceeds about -7kV, intermittent discharge will generate such the electron tube. The light produced by that discharge passes the path of arbitration in many cases with luminescence, and this discharge generates return and a false signal (noise) in the photoelectric surface. This false signal has the technical problem that S/N at the time of feeble light measurement is reduced remarkably.

[0006] Especially, as a sensing device, if the electrical potential difference impressed to this photoelectric surface is set to a plus side from -6kV in the case of the electron tube equipped with the semiconductor device which carries out multiplication of the photoelectron emitted from the photoelectric surface, while reducing the possibility of above-mentioned discharge, it will result in running short of the gain of the semiconductor device concerned. This originates in the property of the electron tube that the energy of the incidence electron to a semiconductor device is changed into gain and of having a semiconductor device, and is not avoided.

[0007] If reference is furthermore made and the insulating container will be directly exposed to an electron orbit even if an electron lens is cylindrical, when this insulating container is charged, the electron orbit itself will be made unstable.

[0008] While this invention stabilizes the orbit of the electron which it accelerated and converged

with the electron lens, having been made in order to solve the above technical problems, impressing the electrical potential difference of about -15kV to the photoelectric surface, and maintaining high gain, it aims at offering the electron tube equipped with structure effective in control of noise generating by above-mentioned discharge.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The container with which the electron tube concerning this invention consists of an insulating ingredient which has the 1st opening, this 1st opening, and the 2nd opening located in the opposite side, The photoelectric surface for being located in a 1st [ of this insulating container ] opening side, and emitting a photoelectron corresponding to the light by which incidence was carried out, The stem for being located in a 2nd [ of an insulating container ] opening side, and specifying the distance of the photoelectric surface and the electronic plane of incidence which the photoelectron emitted from this photoelectric surface reaches, It is prepared in the space between the photoelectric surface and a stem, and while accelerating the photoelectron emitted from this photoelectric surface, it has an electron lens for completing the orbit of this photoelectron.

[0010] In addition, the above-mentioned electronic plane of incidence is the plane of incidence of a sensing device for detection etc. to carry out the photoelectron emitted from the photoelectric surface, for example, is equivalent to the electronic plane of incidence of semiconductor devices, such as an avalanche photo-diode which carries out multiplication (the energy of this electron is changed into gain) of the photoelectron emitted from the photoelectric surface. Moreover, in the electron tube concerned, the above-mentioned electron lens consists of a cathode electrode which has a through tube for passing at least the photoelectron emitted from the photoelectric surface toward electronic plane of incidence, and an anode electrode which has opening for passing the photoelectron which passed this cathode electrode toward this electronic plane of incidence.

[0011] Especially the cathode electrode in the above-mentioned electron lens has the configuration where the part was prolonged toward the stem in accordance with the wall of an insulating container. And that the fault resulting from electrification of the above-mentioned insulating container should be avoided, the cross section (area of this through tube defined by the perpendicular field to the direction of a tube axis) of the through tube in this cathode electrode is small toward this photoelectric surface to this stem so that this cathode electrode may estrange from the wall of an insulating container toward the photoelectric surface to the stem. If it puts in another way, the area of stem side opening of the through tube in this cathode electrode is set up smaller than the area of photoelectric-surface side opening of the through tube in this cathode electrode. Furthermore, a part for the point of the above-mentioned cathode electrode (stem side of the cathode electrode concerned) is bent inside with predetermined curvature.

[0012] Furthermore, the above-mentioned anode electrode in the electron tube concerning this invention has the configuration where that part was prolonged toward the photoelectric surface in accordance with the wall of an insulating container. And both openings of stem side opening of the through tube in the above-mentioned cathode electrode and an anode electrode are located in the building envelope of this insulating container defined by the 1st and 2nd openings of an insulating container. That is, the above-mentioned cathode electrode has the configuration projected toward the anode electrode, and the above-mentioned anode electrode has the configuration projected toward the cathode electrode. If it puts in another way, the electron tube concerned consists of cathode electrodes by realizing structure which brought this cathode electrode and the anode electrode close from a viewpoint of stabilization of the output current so that the wall of the above-mentioned insulating container directly exposed to the electron which faces to an anode electrode may become the minimum.

[0013] Furthermore, the electron tube concerning this invention is the electrode contained by this anode electrode while having the through tube prolonged toward the photoelectric surface to the stem for passing the photoelectron which passed opening of the above-mentioned anode electrode further, and is equipped with the collimator electrode for correcting the orbit of the photoelectron by which incidence was carried out to this through tube. This collimator electrode functions as correcting the orbit of this electron so that the electron emitted from the photoelectric surface may carry out incidence perpendicularly to the electronic plane of incidence of an above-mentioned semiconductor device. It is for maintaining the high discrimination capacity of the electron number

in the electron tube concerned. Furthermore, from the photoelectric surface, that cross section (area of this through tube defined by the perpendicular flat surface to the direction of a tube axis) is formed so that it may become small toward a stem, so that the through tube of this collimator electrode may raise this function.

[0014] When reference is made about the relation on the structure of the above-mentioned collimator electrode and the above-mentioned electronic plane of incidence, the area of stem side opening of the through tube in this collimator electrode is smaller than this electronic plane of incidence. That is, the service area of this electronic plane of incidence in which the electron adjusted by the collimator electrode carries out incidence perpendicularly becomes smaller than the area of this electronic plane of incidence. This is because it is necessary to prevent unnecessary electrification while avoiding the collision of the electron which reaches in addition to the above-mentioned electronic plane of incidence from a viewpoint of component protection.

[0015] The electron tube concerning this invention is further equipped with the metal shield which has opening holding this collimator electrode that the above-mentioned collimator electrode should be fixed to the predetermined location in the above-mentioned anode electrode. This shield also functions that advance of electrons other than the above-mentioned electronic plane of incidence should be prevented. Moreover, it is directly fixed to the wall of an anode electrode, and this shield is supporting the collimator electrode directly by that opening. According to this structure, the above-mentioned anode electrode and a collimator electrode are set as this potential. Furthermore, the area of opening in this shield is it is smaller than the area of photoelectric-surface side opening of the through tube in this collimator electrode, and larger than the area of stem side opening of the through tube in this collimator electrode in order to support a collimator electrode directly.

[0016]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the example of the electron tube concerning this invention is explained using drawing 1 - drawing 10. In addition, the same sign is given to a same-among drawing part, and explanation is omitted. Moreover, this example explains the electron tube equipped with the semiconductor device which carries out multiplication of the electron by which incidence was carried out from this electronic plane of incidence as a sensing device which has the electronic plane of incidence which the photoelectron emitted from the photoelectric surface reaches. The electron tube equipped with this semiconductor device is effective as a photodetector for measuring quantitatively about 10 per one event, and a very feeble light.

[0017] In this drawing, that overall length of the insulating container 5 is the glass bulb of the cylinder hollow 24mm and whose diameter of those are about 25mm. And welding of the cylindrical shape-like the flange 4 and flange 9 of covar metal with a height of about 3.5mm is carried out to each by the side of the 1st opening 500 of this insulating container 5, and the 2nd opening 501. Moreover, the feed pipe 50 for carrying out evacuation of this container 5 to the side attachment wall of the glass bulb 5, and pouring in the metallic fumes for photoelectric-surface formation is formed.

[0018] The input face-plate 1 is the glass plate 1 which has 2nd page 1b of a configuration which was located in 1st page 1a which was processed evenly, and which is located in the incidence side of light, this 1st page 1a, and the opposite side, and turned the concave surface to the stem 10. Welding of this glass plate 1 is carried out to the flange 2 of covar metal, and welding immobilization of this flange 2 is carried out further at the flange 4 by which welding was carried out to the above-mentioned glass bulb 5. Behind, on 2nd page 1b of the above-mentioned glass plate 1, the photoelectric surface 16 with an effective diameter of 16mm is formed.

[0019] Welding immobilization of the stem 10 of covar metal for on the other hand specifying the distance of the photoelectric surface 16 and a semiconductor device 14 (electronic plane of incidence) to the flange 9 by which welding was carried out to the above-mentioned glass bulb 5 is carried out. This stem 10 consists of members 11, 12, and 13, and that central part is the cross-section convex configuration projected to the photoelectric-surface side. In addition, the above-mentioned semiconductor device 14 is carried in the field by the side of the photoelectric surface of the member 13 which constitutes this stem 10, and the lead pin 15 is being fixed through the through tube 130 prepared in this member 13.

[0020] In the container constituted as mentioned above, while accelerating the photoelectron emitted from this photoelectric surface 16 in the space between this photoelectric surface 16 (glass plate 1)



and a stem 10, the electron lens for completing the orbit of this electron is prepared. This electron lens is constituted from a cathode electrode 3 made from stainless steel by which welding immobilization was carried out, and an anode electrode 6 made from stainless steel set as potential higher than this cathode electrode 3 by the above-mentioned flange 4 at least. The cathode electrode 3 has the configuration projected to this stem side while having the through tube 300 penetrated toward the stem 10 from the glass plate 1. Moreover, the anode electrode 6 has the shape of a cylindrical shape in the air projected toward this cathode electrode 3 while having the opening 600 for passing further the electron which passed this cathode electrode 3. Welding immobilization of this anode electrode 6 is carried out at the flange 9 by which welding was carried out to the above-mentioned glass bulb 5.

[0021] Furthermore, in the above-mentioned anode electrode 6, the collimator electrode 8 made from stainless steel for correcting the orbit of this electron is formed so that the electron which passed the opening 600 of the anode electrode 6 may carry out incidence at right angles to the electronic plane of incidence of the above-mentioned semiconductor device 14. The through tube 800 for passing this electron toward a semiconductor device 14 is formed in this collimator electrode 8, and this collimator electrode 8 is being further fixed to the predetermined location in the anode electrode 6 by the metal shield 7.

[0022] The above each part material constitutes the well-closed container maintained by the vacua in the interior of a container concerned along the direction AX of a tube axis of the glass bulb 5 by being attached in the 1st opening [ of this glass bulb 5 ] 500, and 2nd opening 501 side, respectively, as shown in drawing 1.

[0023] some well-closed containers constituted as mentioned above -- a fracture perspective view is shown in drawing 2. The photoelectric surface 16 is in the condition which made the inside of a container the vacuum through the through tube 51 of a feed pipe 50. The metallic fumes of K (potassium), Na (sodium), and Cs (caesium) are poured in in order through this through tube 51. It is formed as a field with an effective diameter of about 16mm by making it react with Sb (antimony) beforehand deposited on 2nd page 1b by making each [ these ] metal deposit in order on 2nd page 1b of a glass plate 1. In addition, while these metals heat the whole tubing, 2nd page 1b can be made to vapor-deposit them alternatively by maintaining this glass plate 1 at low temperature a little. And that the inside of this well-closed container should be held to a vacua, if the photoelectric surface 16 is formed as mentioned above, as shown in drawing 3, it will cut so that the through tube 51 of a feed pipe 50 may be closed. In addition, 52 are some cut feed pipes 50 among drawing. Moreover, drawing 4 is the sectional view in alignment with D-D line in drawing 2 after the feed pipe 50 was cut (after the photoelectric surface 16 was formed) showing the structure of the electron tube concerned, further, 100 show the welding part of the glass bulb 5 and a flange 4 among drawing 4, and, as for 101, the welding part of the glass bulb 5 and a flange 9 is shown.

[0024] The above-mentioned anode electrode 6 consists of a cylinder part in the air and a cone part in which opening 600 was formed, and is a stainless steel electrode of the configuration projected to convex toward the photoelectric surface 16 from glass bulb 5 edge (going to the interior of the glass bulb 5 concerned from the 2nd opening 500). The overall length of this anode electrode 6 is 18mm, and the bore of the opening 600 prepared in this anode electrode 6 is 8mm. In addition, the configuration of this anode electrode 6 is acquired by carrying out press working of sheet metal of the disk plate which was cut down from the stainless plate and which has opening in the center.

[0025] As shown in drawing 5, the collimator electrode 8 is being fixed to this anode electrode 6 by the predetermined location of that interior through the shield 7. That is, the slot 60 (engagement slot) perpendicularly formed to the direction L of incidence of light (it is in agreement with the direction AX of a tube axis of the glass bulb 5) shown in the wall of this anode electrode 6 at drawing 4 is formed, a shield 7 is in the condition of having made the edge part engaging with this slot 60, and welding immobilization is carried out at this anode electrode 6. Thereby, a shield 7 and the anode electrode 6 concerned are set as this potential. Furthermore, it is in the condition which the opening 700 for this shield 7 to hold the collimator electrode 8 is formed, and inserted the collimator electrode 8 in this opening 700, and this collimator electrode 8 is fixed to the predetermined location in the anode electrode 6 by carrying out welding immobilization of the plane of composition 82 of this collimator electrode 8, and the field by the side of the photoelectric surface of this shield 7. In



addition, the area of the opening 700 of a shield 7 is smaller than the area of the photoelectric-surface side opening 80 of the through tube 800 in the collimator electrode 8, and larger than the area of the stem side opening 81 of the through tube 800 in the collimator electrode 8. [ that the collimator electrode 8 should be held ]

[0026] Next, the structure of the cathode electrode 3 in the electron tube concerning this invention is explained using drawing 6.

[0027] This cathode electrode 3 is an electrode which has a through tube 300, and is in the cross section (area of this through tube 300 defined by the perpendicular flat surface to the direction AX of a tube axis) of this through tube 300 as \*\*\*\* small toward a semiconductor device 14 from the photoelectric surface 16. The edge section 30 equipped with contact side 30a for fixing the cathode electrode 3 concerned to a flange 4 is formed in a part for the point by the side of the photoelectric surface of the cathode electrode 3. The amount of [ by the side of the stem of this cathode electrode 3 ] point has extended toward the semiconductor device 14 in accordance with the wall 502 of the glass bulb 5, as shown in drawing 4. Therefore, the part projected toward the stem 10 of this cathode electrode 3 is gradually estranged from the wall 502 of the glass bulb 5 toward the photoelectric surface 16 to the stem 10 (the amount of [ by the side of the stem of this cathode electrode 3 ] point is thin toward this stem 10). If it puts in another way, the area S1 of the photoelectric-surface side opening 31 of the through tube 300 in the cathode electrode 3 concerned is larger than the area S2 of the stem side opening 32 of the through tube 300 in the cathode electrode 3 concerned. Furthermore, a part for the point by the side of the stem of the cathode electrode 3 was processed in the shape of [ whose radius of curvature  $r$  is 1mm ] a semicircle, and has turned to the tube axis of the glass bulb 5.

[0028] In addition, in this cathode electrode 3, the diameter of 22mm and the stem side opening 32 of the diameter of the photoelectric-surface side opening 31 is 16mm, and that overall length is 6mm. Moreover, the configuration of this cathode electrode 3 is also acquired by carrying out press working of sheet metal of the disk plate which was cut down from the stainless plate and which has opening in the center like the anode electrode 6 mentioned above.

[0029] Even if it can realize structure where this cathode electrode 3 interrupts the wall 502 of the insulating glass bulb 5, to the electron which runs the inside of the vacuum in a well-closed container by constituting the cathode electrode 3 which constitutes an electron lens from above configurations and compares with the former, turbulence of the electron orbit resulting from electrification of the wall 502 of this glass bulb 5 by the stray electron is controlled, and the stable output is obtained. Furthermore, since electrification of the wall 502 of this glass bulb 5 can be controlled effectively, the intermittent discharge (it is a \*\*\*\* when accompanied by luminescence) resulting from this electrification is avoidable. Therefore, the electron tube concerned conquers the fault on the structure where the photoelectric surface 16 emits an electron corresponding to the light generated by this discharge. Consequently, since generating of the false signal (noise) resulting from electroluminescence is controlled from the photoelectric surface 16, S/N at the time of feeble light measurement improves remarkably as compared with the conventional electron tube.

[0030] Next, the structure of the collimator electrode 8 in the electron tube concerning this invention is explained using drawing 7.

[0031] The collimator electrode 8 is a bell shape stainless steel electrode which has the through tube 800 prolonged toward the stem 10 from the photoelectric surface 16. Through the shield 7 (support electrode), it unites with the anode electrode 6 and this collimation electrode 8 is arranged.

[0032] Usually, while being accelerated with the electron lens which consists of a cathode electrode 3 and an anode electrode 6, it converges the orbit and incidence of electronic  $e^-$  emitted from the photoelectric surface 16 is carried out to the electronic plane of incidence of a semiconductor device 14. However, if an electron lens is constituted so that the photoelectric surface 16 and a semiconductor device 14 may be made to approach, the path of the electron flow further emitted from the photoelectric surface 16 with an effective diameter of 16mm may be converged on about 1.5mm for example, and incidence may be carried out to a semiconductor device 14, incidence of electronic  $e^-$  emitted from the circumference part of this photoelectric surface 16 will not be perpendicularly carried out to the plane of incidence of a semiconductor device 14. Thus, that electronic  $e^-$  carries out incidence to plane of incidence with a predetermined include angle to the

perpendicular direction of plane of incidence means that the die length which crosses the field (dead layer) which the electron which reached this plane of incidence does not contribute to the electronic multiplication in a semiconductor device 14 becomes long, i.e., the amount of energy lost in this dead layer becomes large. This degrades the discrimination capacity of the electron number of the electron tube concerned.

[0033] On the other hand, the collimator electrode 8 concerned is emitted from the circumference part of the photoelectric surface 16, and forms electric field which return photoelectron e- which is going to carry out incidence to a semiconductor device 14 aslant in the direction AX (it is in agreement with the direction L of incidence of light) of a tube axis (R> drawing 4 4 reference). Since electronic e- emitted from all the fields within the photoelectric surface 16 (effective diameter of 16mm) will lose energy in homogeneity in a dead layer by this, the discrimination capacity of an electron number of the electron tube concerned is highly maintainable.

[0034] Furthermore, that the above-mentioned collimator electrode 8 should reinforce above-mentioned effectiveness further, as shown in drawing 7, the cross section (area of this through tube 800 defined by the perpendicular flat surface to the direction AX of a tube axis) of the through tube 800 is small toward the photoelectric surface 16 to the stem 10. If it puts in another way, the area S3 of the photoelectric-surface side opening 80 of the through tube 800 in the collimator electrode 8 is larger than area S4 of the stem side opening 81 of the through tube 800 in this collimator electrode 8.

[0035] Moreover, if reference is made about the relation on the structure of the collimator electrode 8 concerned and the electronic plane of incidence of a semiconductor device 14, area S4 of the stem side opening 81 of the through tube 800 in this collimator electrode 8 is smaller than the area of the electronic plane of incidence of this semiconductor device 14 mentioned later. That is, the direction of the area of the field at which the electron emitted from the photoelectric surface rather than the effective area of the electronic plane of incidence in a semiconductor device 14 arrives is small. Incidence is carried out in addition to the electronic plane of incidence of a semiconductor device 14, the semiconductor device 14 the very thing concerned is not degraded, or the electron accidentally emitted from other than photoelectric-surface 16 by this does not produce (degradation resulting from electron impact), and unnecessary electrification.

[0036] In addition, when that overall length is 3.5mm, as for the above-mentioned collimator electrode 8, it is desirable that the diameter of the photoelectric-surface side opening 80 of a through tube 800 is 3mm, and the diameter of the stem side opening 81 of this through tube 800 is 2mm (at this time, the area of the stem side opening 81 is set up so that it may become smaller than the area of the electronic plane of incidence of a semiconductor device 14).

[0037] A stem 10 is constituted from a disk plate 13 (covar metal) which plugs up the other end of the stainless steel pipe 12 with which welding immobilization of the end was carried out, and this stainless steel pipe 12 by opening of the member 11 (stainless steel) of the disk configuration which has opening at the core, and this member 11, and the configuration is a convex configuration projected from the edge which has the 2nd opening of the glass bulb 5 toward the photoelectric surface 16. The semiconductor device 14 by which bonding was carried out on this stem 10 (on the disk plate 13) is arranged through the above-mentioned collimator electrode 8 in the photoelectric surface 16 and the opposite side. Furthermore, since the output signal from a semiconductor device 14 is outputted to the exterior of the well-closed container concerned, the lead pin 15 insulated with this stem 10 is being fixed to the disk plate 13.

[0038] Next, the structure of the semiconductor device 14 carried on the disk plate 13 of a stem 10 is explained using drawing 8 and drawing 9.

[0039] This semiconductor device 14 is installed on the disk plate 13 of a stem 10 so that that electronic plane of incidence 148 may counter with the photoelectric surface 16. The electrode layer 146 which this semiconductor device 14 mentions later is electrically connected with the metal lead pin 15 which inserted in airtightly the through tube 130 prepared in the disk plate 13 by carrying out bonding of the edge of the metal wire 18, respectively. A predetermined electrical potential difference is impressed to the photoelectric-surface side of a semiconductor device 14 through the lead pin 15 and a wire 18 from the external power circuit 910, for example, it is held potential abbreviation-150V. Moreover, the same electrical potential difference as the applied voltage of an

electron lens is impressed to the disk plate 13 side of a semiconductor device 14 through a stem 10 from the above-mentioned power circuit 910, for example, it is held potential abbreviation 0V. Thereby, the reverse bias electrical potential difference is impressed to the semiconductor device 14 as a whole.

[0040] In addition, the above-mentioned lead pin 15 is connected to the processing circuit 900 which processes the detecting signal (output current) outputted from a semiconductor device 14 through Capacitor C (refer to drawing 4). Moreover, it fills up with the insulating member 17 between the wall of the through tube 130 of the disk plate 13, and the lead pin 15. Furthermore, in the semiconductor device 14 concerned, the aperture of the electronic plane of incidence 148 which receives a photoelectron and is effectively amplified with a predetermined multiplication factor is about 3mm.

[0041] As shown in drawing 8, in this example, the avalanche photo-diode (henceforth APD) is used as the above-mentioned semiconductor device 14. This APD14 is equipped with the substrate 140 which is the high concentration silicon layer of n mold, and the carrier multiplication layer 141 of p mold is formed by disc-like on this substrate 140 at that central part. It is the outside of this carrier multiplication layer 141, and the guard ring layer 142 which is a high concentration n type layer by the same thickness as this carrier multiplication layer 141 is formed on the substrate 140. Furthermore, on the carrier multiplication layer 141, the breakdown voltage control layer 143 which is a high concentration p type layer is formed. The oxide film 144 and the nitride 145 are formed in the guard ring layer 142 from the circumference part of the breakdown voltage control layer 143 at the \*\*\*\* front-face side. In order to supply anode potential to the breakdown voltage control layer 143, aluminum is vapor-deposited in the shape of a circular ring, and the anode 146 (electrode) is formed. Moreover, this anode 146 and a gap are given and the guard ring layer 142 and the circumference electrode 147 which has flowed are formed in the circumference part.

[0042] In addition, the measuring area (electronic plane of incidence 148) of this APD is the inside part of an anode 146, and the diameter of 3mm is suitable for it. Moreover, as mentioned above, die bonding of this APD14 is carried out on the disk plate 13 through resin 149. The cathode potential of this APD14 is given through a stem 10.

[0043] Specifically, the substrate 140 of APD14 is n+. It is the high concentration single crystal wafer formed by Si of a mold. Thickness is about 500 micrometers and, as for this semi-conductor substrate 140, P (Lynn) is doped by concentration abbreviation  $10^{19}\text{cm}^{-3}$  as an n mold dopant. In addition, the specific resistance of this semi-conductor substrate 140 is about 0.01 ohm-cm.

[0044] The above-mentioned carrier multiplication layer 141 is a low concentration semi-conductor layer formed by growing epitaxially on the semi-conductor substrate 140 in Si of p mold. Thickness is about 10 micrometers and, as for this carrier multiplication layer 141, B (boron) is doped by concentration abbreviation  $10^{14}\text{--}10^{16}\text{cm}^{-3}$  as a p mold dopant. In addition, the specific resistance of this carrier multiplication layer 141 is about one to 100 ohm-cm. The dopant concentration of the carrier multiplication layer 141 is a value to which the depletion layer which spreads from a plane of composition with the semi-conductor substrate 140 reaches the breakdown voltage control layer 143, when the electrical potential difference near breakdown voltage is impressed.

[0045] In addition, in order to hold and carry out epitaxial growth of the good crystallinity in this carrier multiplication layer 141, as for the thickness d of this carrier multiplication layer 141, it is desirable to set up within the limits of about 5 micrometers - about 50 micrometers. Since the heterogeneity of the dopant concentration of the direction of thickness (it is in agreement in the direction L of a tube axis in the condition of having been carried in the stem 10) becomes remarkable when larger than about 50 micrometers, Thickness d will degrade the uniformity of the avalanche multiplication gain over the electron emitted from the photoelectric surface 16 depending on a generation-of-carriers location. On the other hand, since the depletion layer in which Thickness d extends and spreads from the semi-conductor substrate 140 when smaller than about 5 micrometers becomes thin, the gain of APD14 concerned to this electron will be reduced.

[0046] The reason set as about 10 micrometers the above-mentioned thickness d here The maximum range of about 3 micrometers (this electron by which incidence was carried out into APD14) to the inside of the acceleration energy APD 14 of the electron emitted by about 15 keV(s) 3.6eV energy is lost -- \*\* -- alike -- an electronic-electron hole pair -- every one piece -- generating -- it is because

some allowances were taken into consideration to about 3 micrometers of thickness of the avalanche multiplication field mentioned later, respectively in order to press down fluctuation of the gain of APD14 to this electron to minimum.

[0047] The above-mentioned guard ring layer 142 is a high concentration semi-conductor layer formed by carrying out thermal diffusion of the n mold dopant to the periphery of the carrier multiplication layer 141. that thickness of this guard ring layer 142 is the same as that of the thickness of the carrier multiplication layer 141 (about 10 micrometers) -- it is -- as n mold dopant -- P -- the same concentration 1019 [ about ] as the dopant concentration of the semi-conductor substrate 140 -- it is doped by  $\text{cm}^{-3}$ .

[0048] The above-mentioned breakdown voltage control layer 143 is a high concentration semi-conductor layer formed by carrying out thermal diffusion of the p mold dopant to the surface central field of the carrier multiplication layer 141. That thickness of this breakdown voltage control layer 143 is about 1 micrometer, and B is doped as a p mold dopant by the concentration abbreviation  $1019\text{cm}^{-3}$  [ same ] as the dopant concentration of the semi-conductor substrate 140. The circular electronic plane of incidence 148 counters the photoelectric surface 16, and is exposed to the surface center section of this breakdown voltage control layer 143. In addition, the service area of this electronic plane of incidence 148 is restricted to the area S5 smaller than the area of this electronic plane of incidence 148 by the collimator electrode 8, as shown in drawing 9 . That is, the aperture of the field in which incidence of an electron is possible is actually restricted to about 2mm to being about 3mm, as electronic plane-of-incidence 148 aperture which can receive the electron by which incidence was carried out was mentioned above.

[0049] On most on the surface periphery section of the breakdown voltage control layer 143 located in the periphery of the electronic plane of incidence 148, and the whole front face of the guard ring layer 142, two kinds of insulating layers 144 and 145 carry out a laminating one by one, and are formed. An insulating layer 144 is the insulating thin film formed with the oxide of Si. The thickness of this insulating layer 144 is about 200nm. An insulating layer 145 is the insulating thin film formed with the nitride of Si. The thickness of this insulating layer 145 is about 50nm.

[0050] In addition, in case the guard ring layer 142 and the breakdown voltage control layer 143 are formed, in order to hold the crystallinity of the carrier multiplication layer 141 good, an insulating layer 144 oxidizes the surface field of the carrier multiplication layer 141 beforehand, and is formed. Moreover, in case the photoelectric surface 16 is formed, in order not to degrade the semi-conductor property of the carrier multiplication layer 141, the guard ring layer 142, and the breakdown voltage control layer 143, an insulating layer 145 is made to deposit on an insulating layer 144, and is formed.

[0051] The circular ring-like ohmic electrode layer 146 is formed on the above-mentioned insulating layer 145, and it is in contact with the surface periphery section of the breakdown voltage control layer 143 in accordance with the side attachment wall of insulating layers 144 and 145. This ohmic electrode layer 146 is the metal thin film formed with aluminum (aluminum), and has good ohmic contact nature to the breakdown voltage control layer 143.

[0052] In addition, as mentioned above, a predetermined electrical potential difference is impressed through the conductive lead pin 15 from the external power circuit 910 by the bonding of a wire 18, for example, this ohmic electrode layer 146 is held at the negative potential which is -150V.

Moreover, the semi-conductor substrate 140 is installed on a stem 10, and a predetermined electrical potential difference is impressed to it from the external power circuit 910, for example, it is held at the grand (GND) potential of 0V. Thereby, it is  $n^{+}$ . The semi-conductor substrate 140 and  $p^{+}$  of a mold A depletion layer is generated as an avalanche multiplication field by between [ 141 ] the breakdown voltage control layers 143 of a mold (i.e., a carrier multiplication layer).

[0053] Thus, 0V (ground potential) are impressed to -15kV and the anode electrode 6 from the external power circuit 910 at the photoelectric surface 16 of the constituted electron tube, and the cathode electrode 3. At this time, the cathode electrode 3, the anode electrode 6, and the collimator electrode 8 form an electron lens, and it is made to converge to the diameter of 1.5mm smaller than the area of the stem side opening 81 of the through tube 800 in the collimator electrode 8, and they carry out incidence of the electron flow emitted from the photoelectric surface 16 with an effective diameter of 16mm to the electronic plane of incidence 148 of APD14. As mentioned above, -150V

are impressed to the anode 146 of APD14 so that about 50 times as many avalanche multiplication gain as this may be acquired. Moreover, as for the cathode (the stem 10 is functioning as this cathode) of this APD14, 0V are given.

[0054] Here, if light carries out incidence through the plane-of-incidence plate 1, an electron will be emitted into a vacuum from the photoelectric surface 16. It converges, this emitted electron has the energy of 15keV, and incidence is carried out to the electronic plane of incidence 148 of APD14 while being accelerated with an electron lens. this electron by which incidence was carried out to the electronic plane of incidence 148 loses 3.6eV energy within APD14 -- \*\* -- since it is alike and generates one electronic-electron hole pair at a time -- this first multiplication process -- about  $4 \times 10^3$  twice (electron irradiation gain until it arrives at the avalanche multiplication field of this incidence electron) -- extent multiplication is carried out. Furthermore, avalanche multiplication gain until these carriers pass through an avalanche multiplication field and reach the semi-conductor substrate 140 is about 50. Thereby, the gain of the secondary electron [ as opposed to an incidence electron as a whole ] of APD14 is  $2 \times 10^5$ . Extent is reached.

[0055] Since the multiplication factor of the first rank is high figures triple [ about ] compared with 4000 and the conventional electron tube as mentioned above in the electron tube concerning this invention, very good detection of S/N is possible. Actually, artificers checked that it could discriminate from the input electron number (it is convertible into the number of incident light children) from which it was not able to discriminate with the electron tube concerning this invention in the conventional electron tube, when very feeble pulsed light carried out incidence and an average of 4 electronic extent was emitted from the photoelectric surface. In case such a property acquired with the electron tube concerning this invention observes quantitatively the fluorescence emitted from the living body minute amount matter, it is very effective.

[0056] In addition, even if it impresses [ 16 ] high pressure called -15kV of photoelectric surfaces, it is important that discharge does not occur within the electron tube. With discharge here, feeble discharge which does not do harm is also included not only in the intense discharge which destroys the photoelectric surface 16 and a semiconductor device 14 but in these. The light which also generated feeble discharge by this discharge in many cases with luminescence especially is because a false signal (noise) is generated as return and a result in the photoelectric surface 16 in the path of arbitration.

[0057] The electron tube concerning this invention has set long smoothly the edge surface distance (the die length of the direction AX of a tube axis of this glass bulb 5) of the glass bulb 5 which is the insulator which maintains high pressure as 24mm like as much as possible. Moreover, a part for the point of the cathode electrode 3 which electric field concentrate and serves as a trigger of discharge is separated from the wall 502 of the glass bulb 5 to which potential becomes unstable by electrification (refer to drawing 2 and drawing 4 ). That is, the cathode electrode 3 has the configuration to which the outer diameter becomes small toward a semiconductor device 14 from the photoelectric surface 16. Furthermore, the amount of [ of the cathode electrode 3 ] point is considering as the cross-section configuration of a hemicycle with a radius of curvature of 1mm, in order to avoid concentration of electric field (refer to drawing 6 ). By the above configuration, the electron tube concerning this invention has realized structure for avoiding the feeble discharge which is easy to generate when impressing the high voltage.

[0058] The electron tube concerning this invention is bringing the cathode electrode 3 and the anode electrode 6 of each other close further paying attention to the time amount property. That is, the cathode electrode 3 has the configuration projected toward the anode electrode 6, and this anode electrode 6 has the configuration projected toward the cathode electrode 3. This is for securing the field strength which fully accelerates the electron emitted from the photoelectric surface 16 by making each electrodes 3 and 6 approach. Moreover, making electrodes 3 and 6 approach in this way is based on the rule of thumb of being hard to generate inter-electrode vacuum discharge compared with edge surface discharge of an insulating material, and, as for this distance, pressure-proofing is not actually restricted. Furthermore, the semiconductor device 14 is also brought close to the photoelectric surface 16 from the viewpoint of a time amount property for the purpose of shortening the mileage of the photoelectron from the photoelectric surface 16 to a semiconductor device 14, and the transit time. According to such structures, transit-time fluctuation from the photoelectric surface



16 to a semiconductor device 14 was made small, and the time amount property of 50ps (picosecond) extent is realized.

[0059] As mentioned above, it is effective in removing the effect on the electron which runs the inside of the vacuum of the glass bulb 5 which consists of an insulating ingredient again to make the cathode electrode 3 and the anode electrode 6 approach. That is, this glass bulb 5 is charged for the electron which strays the inside of a vacuum, or ion, and can take various potentials. Therefore, in response to the effect according that the wall 502 of the glass bulb 5 is the structure exposed to the electron orbit to this electrification, the output current becomes unstable, and, as for the electron tube concerned, a drift property deteriorates.

[0060] In the electron tube concerning this invention, while making some cathode electrodes 3 project toward the anode electrode 6 as mentioned above, it has the structure where each electrodes 3 and 6 were made to approach, by making these some anode electrodes 6 project toward the cathode electrode 3. the stem side opening 32 of the through tube [ in / when putting in another way, as it was shown in drawing 10 / the cathode electrode 3 ] 300, and the opening 600 in the anode electrode 6 -- each is located in the building envelope 503 of this glass bulb 5 defined by the 1st opening 500 and 2nd opening 501 of the glass bulb 5. Thus, since the wall 502 of this glass bulb 5 directly exposed from the cathode electrode 3 by constituting to the electron which faces to the anode electrode 6 is restricted to the minimum (field shown all over [ L2 ] drawing), the output current acquired through the lead pin 15 is stabilized by it.

[0061] Moreover, since the forward electrical potential difference is impressed to the electronic plane of incidence 148 (-150V), the collimator electrode 8 (0V) can control the ion which returns from the electronic plane of incidence 148 to the photoelectric surface 16. The ion controlled here is gas of a molecule and the shape of an atom which was sticking to the electronic plane of incidence 148 of a semiconductor device 14, and with the primary electron which carried out incidence, an electron is calculated and it is just ionized. Since the reverse bias for a cation is impressed between the electronic plane of incidence 148 and the collimator electrode 8, these ion cannot pass through this collimator electrode 8, and cannot return to the photoelectric surface 16.

[0062] Thus, the property that ion does not return to the photoelectric surface 16 is important. That is, in the electron tube concerned, it is because the ion which returns to the photoelectric surface 16 will return with the same high energy and a destructive damage is given to the photoelectric surface 16, since the high voltage is impressed between the photoelectric surface 16 and a semiconductor device 14. Therefore, when the ion which returns to the photoelectric surface 16 cannot be controlled, the life of the photoelectric surface 16, i.e., the life of the electron tube concerned, will be shortened remarkably.

[0063]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to this invention, it is small as the edge surface distance of the glass bulb which is an insulating ingredient is taken enough and the outer diameter of a cathode electrode goes to a semiconductor device. Since electrification of this glass bulb is suppressed and generating of the intermittent discharge between this cathode electrode and a glass bulb can be avoided by this configuration, it becomes possible to stabilize and impress an electrical potential difference high enough to the electron tube concerned.

[0064] Moreover, since this electron and the wall are covered for the wall of a glass bulb with this each electrode, a time amount property is good, and, as for this glass bulb, the effect of electrification can also realize actuation in which it was hard coming to receive and the long time of the electron tube concerned was stabilized so that an anode electrode may be made to approach a cathode electrode and the part directly exposed to the electron which runs this each inter-electrode one may be made into the minimum.

[0065] Furthermore, there are an electron emitted by the function of a collimator electrode from the photoelectric surface and effectiveness that the electron tube which has the high discrimination capacity of an electron number is obtained since incidence is carried out at right angles to a semiconductor device.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

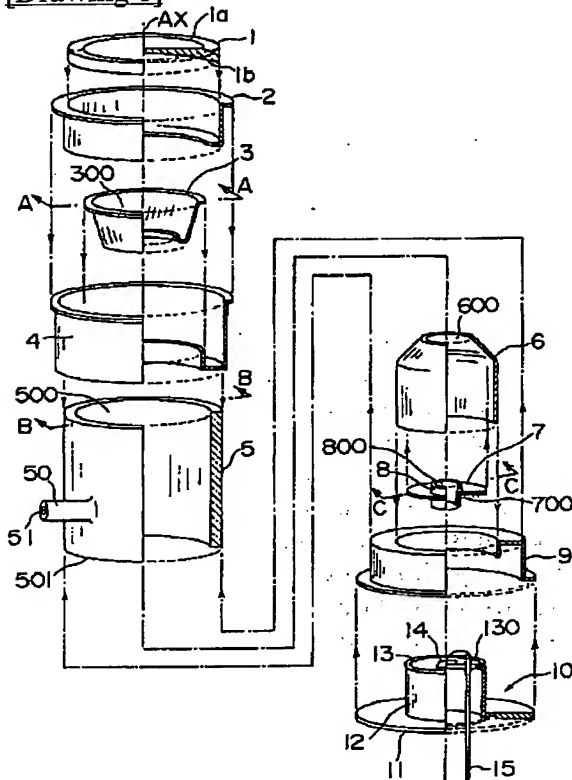
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DRAWINGS

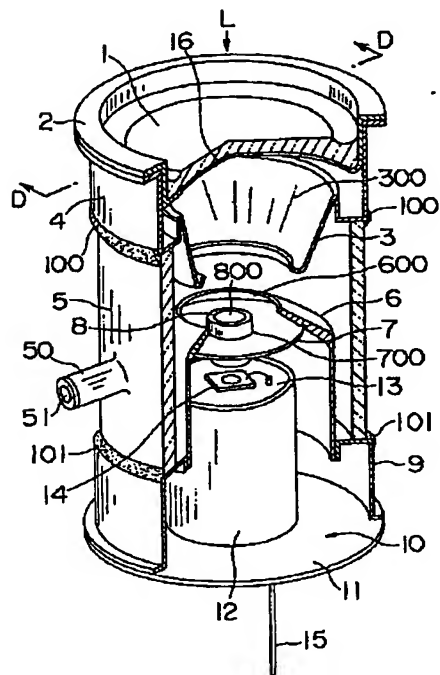
---

[Drawing 1]

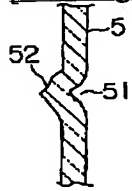


[Drawing 2]

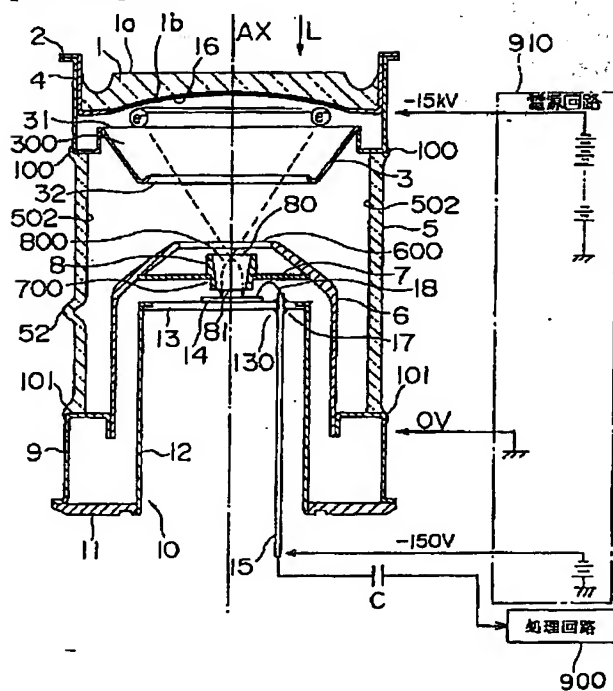




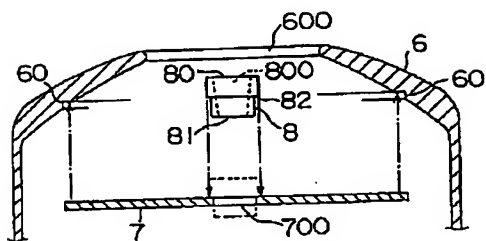
[Drawing 3]



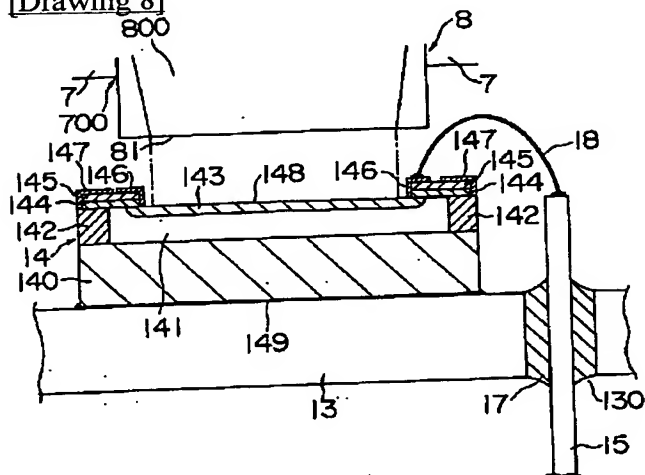
[Drawing 4]



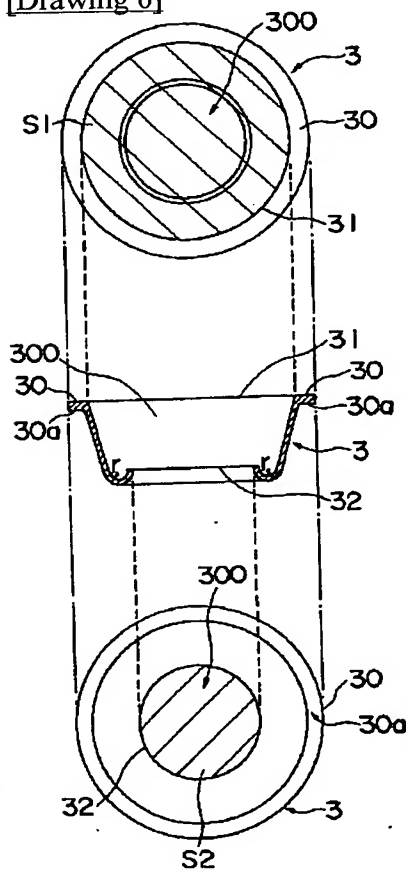
[Drawing 5]



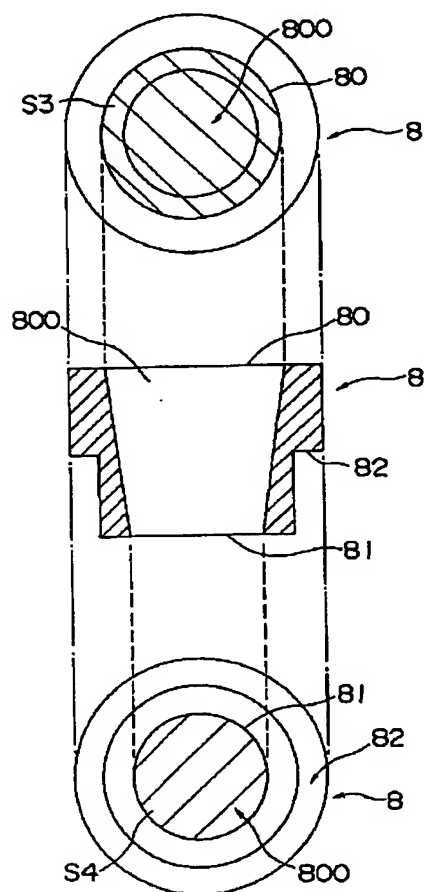
[Drawing 8]



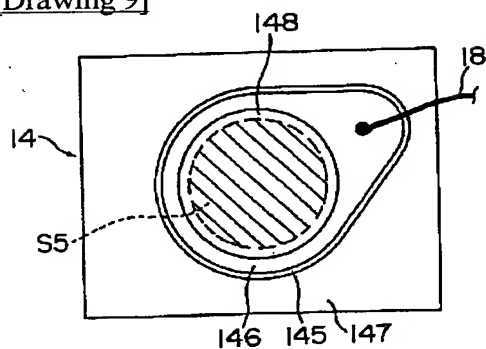
[Drawing 6]



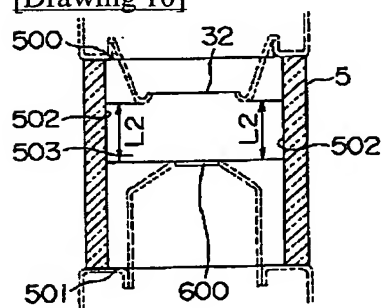
[Drawing 7]



[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Translation done.]

**ELECTRON TUBE**

**Patent number:** JP9297055  
**Publication date:** 1997-11-18  
**Inventor:** SUYAMA MOTOHIRO; KAWAI KATSUHIKO; KIMURA SUENORI; HIRANO MASARU; ASAKURA NORIO; MORITA TETSUYA  
**Applicant:** HAMAMATSU PHOTONICS KK  
**Classification:**  
 - International: G01J1/02; G01J1/42; H01J40/04  
 - european:  
**Application number:** JP19960111656 19960502  
**Priority number(s):**

Also published as:



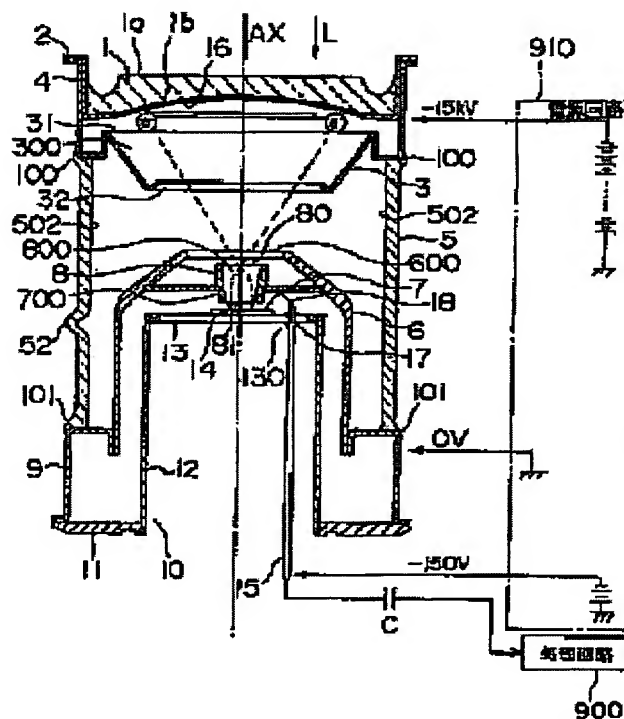
EP0805478 (A)  
 US5917282 (A)  
 EP0805478 (A)  
 EP0805478 (B)

Report a data error he

**Abstract of JP9297055**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain such a structure that can stabilize the orbit of electron accelerated and focused by an electronic lens and effectively suppress the generation of noises due to discharging.

**SOLUTION:** A cathode electrode 3 constituting an electronic lens extends partly toward a stem 10 along an inner wall 502 of an insulation container 5 and its tip end becomes thinner toward the stem 10, so that the tip end of the electrode 3 is apart from the inner wall 502 of the container 5. Thus, the container 5 is prevented from charging, and the discharging together with light emission to the electrode 3 and the container 5 can be suppressed.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-297055

(43) 公開日 平成9年(1997)11月18日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 J	1/02		G 0 1 J	1/02 D
	1/42			1/42 G
H 0 1 J	40/04		H 0 1 J	40/04

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平8-111656

(22) 出願日 平成8年(1996)5月2日

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 須山 本比呂

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72) 発明者 河合 克彦

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72) 発明者 木村 末則

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

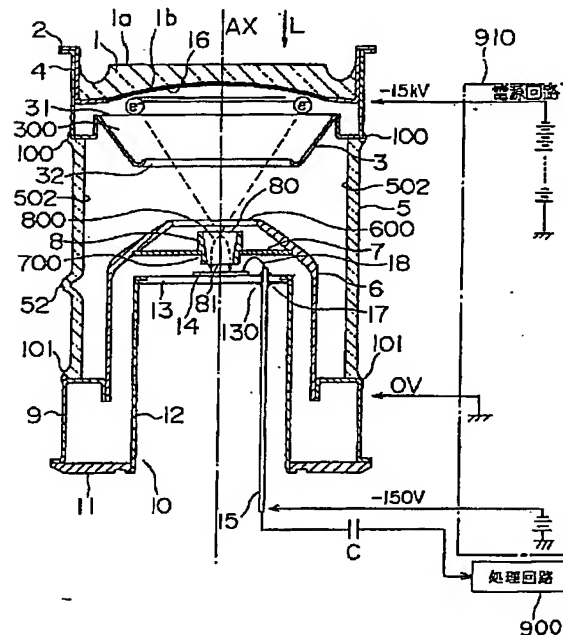
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子管

(57) 【要約】

【課題】 電子レンズにより加速・収束された電子の軌道を安定にするとともに、放電によるノイズ発生を効果的に抑制する構造を得る。

【解決手段】 電子レンズを構成するカソード電極3を、その一部が絶縁容器5の内壁502に沿ってステム10に向かって延び、かつその先端部分がステム10に向かって細くなる形状にすることにより、該絶縁容器5の内壁502からカソード電極3の先端部分を離間させる。これにより、該絶縁容器5の帯電を防止し、該カソード電極3と該絶縁容器5までの発光を伴う放電を抑制する構造を実現している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の開口と該第1の開口と反対側に位置する第2の開口を有する、絶縁性材料からなる容器と、

前記絶縁容器の第1の開口側に位置し、入射された光に対応して光電子を放出するための光電面と、

前記絶縁容器の第2の開口側に位置し、前記光電面と該光電面から放出された光電子が到達する電子入射面との距離を規定するためのステムと、

前記光電面と前記ステムとの間の空間内に設けられ、該光電面から放出された光電子を加速するとともに、該光電子の軌道を収束させるための電子レンズとを備えた電子管において、

前記電子レンズは、前記光電面から放出された光電子を前記電子入射面に向かって通過させるための貫通孔を有し、その一部が前記絶縁容器の内壁に沿って前記ステムに向かって延びた形状を有するカソード電極と、該カソード電極と通過した光電子を該電子入射面に向かって通過させるための開口部を有するアノード電極とを備え、さらに、前記カソード電極における前記貫通孔の断面積は、前記光電面から前記ステムに向かって小さくなっていることを特徴とする電子管。

【請求項2】 第1の開口と該第1の開口と反対側に位置する第2の開口を有する、絶縁性材料からなる容器と、

前記絶縁容器の第1の開口側に位置し、入射された光に対応して光電子を放出するための光電面と、

前記光電面から放出された光電子が到達する電子入射面を有するとともに、該電子入射面が前記光電面と対向するように配置される半導体素子と、

前記絶縁容器の第2の開口側に位置し、前記光電面と前記半導体素子の電子入射面との距離を規定するためのステムと、

前記光電面と前記ステムとの間の空間内に設けられ、該光電面から放出された光電子を加速するとともに、該光電子の軌道を収束させるための電子レンズとを備えた電子管において、

前記電子レンズは、前記光電面から放出された光電子を前記半導体素子に向かって通過させるための貫通孔を有し、その一部が前記絶縁容器の内壁に沿って前記ステムに向かって延びた形状を有するカソード電極と、該カソード電極と通過した光電子を該半導体素子に向かって通過させるための開口部を有するアノード電極とを備え、さらに、前記カソード電極における前記貫通孔の断面積は、前記光電面から前記ステムに向かって小さくなっていることを特徴とする電子管。

【請求項3】 前記カソード電極の、前記ステムに向かって延びる一部は、前記絶縁容器の第1及び第2の開口によって定義される該絶縁容器の内部空間内に収納され、かつ該カソード電極における前記貫通孔のステム側

開口は、該絶縁容器の内部空間内に位置することを特徴とする請求項1又は2記載の電子管。

【請求項4】 前記カソード電極は、前記ステム側に延びたその先端部分が所定の曲率で内側に曲げられていることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項記載の電子管。

【請求項5】 前記アノード電極は、その一部が前記絶縁容器の内壁に沿って前記光電面に向かって延びた形状を有するとともに、前記カソード電極における貫通孔のステム側開口及び前記アノード電極の開口部は、ともに、前記絶縁容器の前記第1及び第2の開口によって定義される該絶縁容器の内部空間内に位置することを特徴とする請求項1～4のいずれか一項記載の電子管。

【請求項6】 前記アノード電極の開口部を通過した光電子を通過させるための、前記光電面から前記ステムに向かって延びた貫通孔を有するとともに、該アノード電極に収納された電極であって、該貫通孔に入射された光電子の軌道を修正するためのコリメータ電極を備えることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項記載の電子管。

【請求項7】 前記コリメータ電極における前記貫通孔の断面積は、前記光電面から前記ステムに向かって小さくなっていることを特徴とする請求項6記載の電子管。

【請求項8】 前記コリメータ電極における前記貫通孔のステム側開口の面積は、前記電子入射面よりも小さいことを特徴とする請求項6又は7記載の電子管。

【請求項9】 前記アノード電極と直接接触し、かつ前記コリメータ電極を該アノード電極内の所定の位置に保持するための開口部を有する遮蔽板を備えたことを特徴とする請求項6～8のいずれか一項記載の電子管。

【請求項10】 前記遮蔽板における前記開口部の面積は、前記コリメータ電極における前記貫通孔の光電面側開口の面積よりも小さく、かつ該コリメータ電極における前記貫通孔のステム側開口の面積よりも大きいことを特徴とする請求項9記載の電子管。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、微弱な光を定量的に計測するための光検出器に関し、特に、光電面と該光電面から放出された光電子を検出等するためのセンシング・デバイスを備えた電子管に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、光電面から放出された光電子を電子レンズで加速・収束し、該光電子をセンシング・デバイスとして、例えば半導体素子に入射して高いゲインを得る電子管が知られている。この従来の電子管は、例えば、特開平6-318447号公報、特開平5-54849号公報、特開平7-320681号公報、あるいはG.A.Johansen, "Operational characteristics of an electron-bombarded silicon-diode photomultiplier tu

be", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A326(1993), p.295-298などに開示されている。

【0003】特に、上記特開平6-318447号公報、及び特開平7-320681号公報には、光電子が通過するための開口部を有する平板電極によって構成された電子レンズが開示されている。一方、上記特開平5-54849号公報、及びJohansen文献には、光電子が通過するための開口部を有する円筒状電極によって構成された電子レンズが開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、電子レンズが平板状電極で構成されている電子管の場合、絶縁性材料からなる容器の内壁が真空中を走行する光電子に対して露出した構造となる。したがって、このような構造の電子管では、迷走電子によるバルブ内壁の帯電によって、電子軌道が乱され、安定な出力が得られないという課題がある。

【0005】さらに、上述のように、電子レンズが円筒状電極で構成されている電子管の場合は、耐圧が問題となる。すなわち、このような電子管は、光電面に印加される電圧が-7 kV程度を越えると間欠的な放電が発生する。この放電は発光を伴うことが多く、その放電により生じた光が任意の経路を通過して光電面に戻り、疑似信号（ノイズ）を発生する。この疑似信号は、微弱光計測時のS/Nを著しく低下させるという課題がある。

【0006】特に、センシング・デバイスとして、光電面から放出された光電子を増倍する半導体素子を備える電子管の場合、この光電面に印加される電圧を、-6 kVよりプラス側に設定すると、上述の放電の可能性は低減する一方、当該半導体素子のゲインが不足する結果となる。これは、半導体素子への入射電子のエネルギーがゲインに変換されるという、半導体素子を有する電子管の特性に起因して避けられない。

【0007】さらに言及すれば、電子レンズが円筒状であっても、絶縁容器が電子軌道に対して直接露出していると、この絶縁容器が帯電することにより、電子軌道自体を不安定にする。

【0008】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、光電面に-15 kV程度の電圧を印加して高いゲインを維持しながら、電子レンズにより加速・収束された電子の軌道を安定させるとともに、上述の放電によるノイズ発生抑制に有効な構造を備えた電子管を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】この発明に係る電子管は、第1の開口と該第1の開口と反対側に位置する第2の開口を有する、絶縁性材料からなる容器と、この絶縁容器の第1の開口側に位置し、入射された光に対応して光電子を放出するための光電面と、絶縁容器の第2の開口側に位置し、光電面と該光電面から放出された光電子

が到達する電子入射面との距離を規定するためのステムと、光電面とステムとの間の空間内に設けられ、該光電面から放出された光電子を加速するとともに、該光電子の軌道を収束させるための電子レンズとを備える。

【0010】なお、上記電子入射面は、光電面から放出された光電子を検出等するためのセンシング・デバイスの入射面であって、例えば、光電面から放出された光電子を増倍（該電子のエネルギーをゲインに変換）するアバランシェ・フォトダイオード等の半導体素子の電子入射面に相当する。また、当該電子管において、上記電子レンズは、少なくとも、光電面から放出された光電子を電子入射面に向かって通過させるための貫通孔を有するカソード電極と、該カソード電極を通過した光電子を該電子入射面に向かって通過させるための開口部を有するアノード電極とから構成されている。

【0011】特に、上記電子レンズにおけるカソード電極は、その一部が絶縁容器の内壁に沿ってステムに向かって延びた形状を有する。そして、上記絶縁容器の帯電に起因する不具合を回避すべく、該カソード電極における貫通孔の断面積（管軸方向に対して垂直な面によって定義される該貫通孔の面積）は、該カソード電極が光電面からステムに向かって絶縁容器の内壁から離間していくよう、該光電面から該ステムに向かって小さくなっている。換言すれば、該カソード電極における貫通孔のステム側開口の面積は、このカソード電極における貫通孔の光電面側開口の面積よりも小さく設定されている。さらに、上記カソード電極の先端部分（当該カソード電極のステム側）は、所定の曲率で内側に曲げられている。

【0012】さらに、この発明に係る電子管における上記アノード電極は、その一部が絶縁容器の内壁に沿って光電面に向かって延びた形状を有する。そして、上記カソード電極における貫通孔のステム側開口及びアノード電極の開口部は、ともに、絶縁容器の第1及び第2の開口によって定義される該絶縁容器の内部空間内に位置している。すなわち、上記カソード電極は、アノード電極に向かって突出した形状を有し、上記アノード電極は、カソード電極に向かって突出した形状を有する。換言すれば、当該電子管は、出力電流の安定化の観点から、該カソード電極とアノード電極とを近づけた構造を実現することにより、カソード電極からアノード電極に向かう電子に対し、直接露出する上記絶縁容器の内壁が最小限になるよう構成されている。

【0013】さらに、この発明に係る電子管は、上記アノード電極の開口部をさらに通過した光電子を通過させるための、光電面からステムに向かって延びた貫通孔を有するとともに、該アノード電極に収納された電極であって、該貫通孔に入射された光電子の軌道を修正するためのコリメータ電極を備える。このコリメータ電極は、光電面から放出された電子が、例えば、上述の半導体素子の電子入射面に対して垂直に入射するよう、該電子の



軌道を修正するよう機能する。当該電子管における電子数の高い弁別能力を維持するためである。さらに、該コリメータ電極の貫通孔は、この機能を向上させるべく、その断面積（管軸方向に対して垂直な平面によって定義される該貫通孔の面積）が、光電面からステムに向かって小さくなるよう形成されている。

【0014】上記コリメータ電極と上記電子入射面との構造上の関係について言及すると、該コリメータ電極における貫通孔のステム側開口の面積は、該電子入射面よりも小さい。すなわち、コリメータ電極により軌道修正された電子が垂直に入射する該電子入射面の有効領域は、該電子入射面の面積よりも小さくなる。これは、素子保護の観点から、上記電子入射面以外に到達する電子の衝突を回避する必要があるとともに、不要な帯電を防止する必要があるからである。

【0015】この発明に係る電子管は、さらに、上記コリメータ電極を上記アノード電極内の所定位置に固定すべく、該コリメータ電極を保持する開口部を有する金属遮蔽板を備える。この遮蔽板上に上記電子入射面以外への電子の進行を阻止すべく機能する。また、この遮蔽板は、アノード電極の内壁に直接固定され、かつコリメータ電極をその開口部で直接支持している。この構造により、上記アノード電極とコリメータ電極とは、同電位に設定される。さらに、この遮蔽板における開口部の面積は、コリメータ電極を直接支持するため、該コリメータ電極における貫通孔の光電面側開口の面積よりも小さく、かつ該コリメータ電極における貫通孔のステム側開口の面積よりも大きくなっている。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、この発明に係る電子管の実施例を図1～図10を用いて説明する。なお、図中同一部分には同一符号を付して説明を省略する。また、光電面から放出された光電子が到達する電子入射面を有するセンシング・デバイスとして、この実施例では、該電子入射面から入射された電子を増倍する半導体素子を備えた電子管について説明する。この半導体素子を備えた電子管は、1イベント当たり10個程度と非常に微弱な光を定量的に計測するための光検出器として有効である。

【0017】この図において、絶縁容器5は、その全長が24mm、その直径が25mm程度の円筒中空のガラスバルブである。そして、該絶縁容器5の第1の開口500側及び第2の開口501側のそれぞれには、高さ3.5mm程度の円筒形状のコパール金属製のフランジ4及びフランジ9が融着されている。また、ガラスバルブ5の側壁には該容器5を真空排気し、かつ光電面形成用の金属蒸気を注入するための注入パイプ50が形成されている。

【0018】入力面板1は、平坦に加工された、光の入射側に位置する第1面1aと、該第1面1aと反対側に位置し、ステム10に凹面を向けた形状の第2面1bを

有するガラス板1である。このガラス板1はコパール金属製のフランジ2に融着され、さらに、該フランジ2は、上記ガラスバルブ5に融着されたフランジ4に溶接固定されている。後に、上記ガラス板1の第2面1b上には、有効径16mmの光電面16が形成される。

【0019】一方、上記ガラスバルブ5に融着されたフランジ9には、光電面16と半導体素子14（電子入射面）との距離を規定するための、コパール金属製のステム10が溶接固定されている。このステム10は、部材11、12、13から構成されており、その中央部分が光電面側に突出した断面凸形状である。なお、このステム10を構成する部材13の光電面側の面には上記半導体素子14が搭載されており、該部材13に設けられた貫通孔130を介してリードピン15が固定されている。

【0020】以上のように構成される容器内には、該光電面16（ガラス板1）とステム10との間の空間内に、該光電面16から放出される光電子を加速するとともに該電子の軌道を収束させるための電子レンズが設けられている。この電子レンズは、少なくとも、上記フランジ4に溶接固定された、ステンレス製のカソード電極3と、該カソード電極3よりも高い電位に設定されるステンレス製のアノード電極6から構成されている。カソード電極3はガラス板1からステム10に向かって貫通した貫通孔300を有するとともに、該ステム側に突出した形状を有する。また、アノード電極6は、該カソード電極3を通過した電子をさらに通過させるための開口部600を有するとともに、該カソード電極3に向かって突出した、中空の円筒形状を有する。このアノード電極6は上記ガラスバルブ5に融着されたフランジ9に溶接固定されている。

【0021】さらに、上記アノード電極6内には、アノード電極6の開口部600を通過した電子が上記半導体素子14の電子入射面に垂直に入射するよう、該電子の軌道を修正するための、ステンレス製のコリメータ電極8が設けられている。このコリメータ電極8には、該電子を半導体素子14に向かって通過させるための貫通孔800が設けられており、さらに、このコリメータ電極8は、金属製の遮蔽板7によって、アノード電極6内の所定位置に固定されている。

【0022】以上の各部材は、図1に示されたように、ガラスバルブ5の管軸方向AXに沿って、該ガラスバルブ5の第1の開口部500側及び第2の開口501側にそれぞれ取り付けられることにより、当該容器内部を真空状態に維持される密閉容器を構成している。

【0023】以上のように構成された密閉容器の一部破断斜視図を図2に示す。光電面16は、注入パイプ50の貫通孔51を介して容器内を真空にした状態で、該貫通孔51を介してK（カリウム）、Na（ナトリウム）、Cs（セシウム）の金属蒸気を順に注入し、これ

ら各金属をガラス板1の第2面1b上に順に堆積させることによりあらかじめ第2面1b上に堆積されているSb(アンチモン)と反応させる事で有効径16mm程度の領域として形成される。なお、これら金属は、管全体を加熱するとともに、該ガラス板1をやや低温に維持しておくことにより、第2面1bに選択的に蒸着させることができる。そして、以上のように光電面16が形成されると、該密閉容器内を真空状態に保持すべく、図3に示されたように、注入パイプ50の貫通孔51を塞ぐよう切断する。なお、図中、52は切断された注入パイプ50の一部である。また、図4は、注入パイプ50が切断された後(光電面16が形成された後)の、図2中のD-D線に沿った、当該電子管の構造を示す断面図であり、さらに、図4中、100はガラスバルブ5とフランジ4との融着部分を示し、101はガラスバルブ5とフランジ9との融着部分を示す。

【0024】上記アノード電極6は、中空の円筒部分と開口部600が形成された円錐部分から構成されており、光電面16に向かってガラスバルブ5端(第2の開口500から当該ガラスバルブ5の内部に向かって)より凸状に突出した形状のステンレス電極である。このアノード電極6の全長は18mmであり、該アノード電極6に設けられた開口部600の内径は8mmである。なお、このアノード電極6の形状は、ステンレス板から切出された、中央に開口部を有するディスク板をプレス加工することにより得られる。

【0025】図5に示されたように、このアノード電極6には、その内部の所定位置にコリメータ電極8が遮蔽板7を介して固定されている。すなわち、該アノード電極6の内壁には、図4に示された光の入射方向L(ガラスバルブ5の管軸方向AXと一致している)に対して垂直に形成された溝60(係合溝)が形成されており、遮蔽板7は該溝60にそのエッジ部分を係合させた状態で、該アノード電極6に溶接固定されている。これにより、当該遮蔽板7とアノード電極6は同電位に設定される。さらに、この遮蔽板7は、コリメータ電極8を保持するための開口部700が設けられており、該開口部700にコリメータ電極8を挿入した状態で、該コリメータ電極8の接合面82と該遮蔽板7の光電面側の面とを溶接固定することにより、該コリメータ電極8はアノード電極6内の所定位置に固定される。なお、コリメータ電極8を保持すべく、遮蔽板7の開口部700の面積は、コリメータ電極8における貫通孔800の光電面側開口80の面積よりも小さく、かつコリメータ電極8における貫通孔800のステム側開口81の面積よりも大きい。

【0026】次に、図6を用いて、この発明に係る電子管におけるカソード電極3の構造を説明する。

【0027】このカソード電極3は、貫通孔300を有する電極であり、該貫通孔300の断面積(管軸方向A

Xに対して垂直な平面によって定義される該貫通孔300の面積)は、光電面16から半導体素子14に向かって小さくなっている。カソード電極3の光電面側の先端部分にはフランジ4に当該カソード電極3を固定するための当接面30aを備えたエッジ部30が設けられている。該カソード電極3のステム側の先端部分は、図4に示されたように、ガラスバルブ5の内壁502に沿って半導体素子14に向かって延びている。したがって、このカソード電極3のステム10に向かって突出した部分は、光電面16からステム10に向かって徐々に、ガラスバルブ5の内壁502から離間している(該カソード電極3のステム側の先端部分は、該ステム10に向かって細くなっている)。換言すれば、当該カソード電極3における貫通孔300の光電面側開口31の面積S1は、当該カソード電極3における貫通孔300のステム側開口32の面積S2よりも大きくなっている。さらに、カソード電極3のステム側の先端部分は、曲率半径rが1mmである半円状に加工され、ガラスバルブ5の管軸に向いている。

【0028】なお、このカソード電極3において、光電面側開口31の直径は22mm、ステム側開口32の直径は16mmであり、その全長は6mmである。また、このカソード電極3の形状も、上述されたアノード電極6と同様に、ステンレス板から切出された、中央に開口部を有するディスク板をプレス加工することにより得られる。

【0029】電子レンズを構成するカソード電極3を以上のような形状で構成することにより、密閉容器内の真空中を走行する電子に対し、絶縁性のガラスバルブ5の内壁502を該カソード電極3が遮る構造が実現でき、従来と比較しても、迷走電子による該ガラスバルブ5の内壁502の帯電に起因した電子軌道の乱れを抑制し、安定した出力が得られる。さらに、該ガラスバルブ5の内壁502の帯電を効果的に抑制できるので、該帯電に起因する間欠的な放電(発光を伴う場合あり)を回避することができる。したがって、当該電子管は、該放電により発生した光に対応して光電面16が電子を放出するという構造上の不具合を克服する。この結果、光電面16からは放電発光に起因する疑似信号(ノイズ)の発生が抑制されるので、微弱光計測時のS/Nは、従来の電子管と比較して著しく向上する。

【0030】次に、図7を用いて、この発明に係る電子管におけるコリメータ電極8の構造を説明する。

【0031】コリメータ電極8は、光電面16からステム10に向かって延びた貫通孔800を有する中空円筒状のステンレス電極である。このコリメータ電極8は遮蔽板7(支持電極)を介してアノード電極6と一体化して配置されている。

【0032】通常、光電面16から放出された電子 $e^-$ は、カソード電極3及びアノード電極6からなる電子レ

10

20

30

40

50

レンズにより加速されるとともに、その軌道が収束されて半導体素子14の電子入射面に入射する。しかしながら、例えば、光電面16と半導体素子14を近接させ、さらに、有効径16mmの光電面16から放出された電子流の径を1.5mm程度に収束して半導体素子14に入射させるように電子レンズを構成すると、該光電面16の周辺部分から放出された電子 $e^-$ は半導体素子14の入射面に対して垂直には入射しない。このように、入射面の垂直方向に対して所定の角度を持って電子 $e^-$ が入射面に入射することは、該入射面に到達した電子が半導体素子14における電子増倍に寄与しない領域(デッド層)を横切る長さが長くなること、すなわち、該デッド層で失うエネルギーが大きくなることを意味する。このことは、当該電子管の電子数の弁別能力を劣化させる。

【0033】一方、当該コリメータ電極8は、光電面16の周辺部分から放出され、半導体素子14に斜めに入射しようとする光電子 $e^-$ を管軸方向AX(光の入射方向Lと一致している)に戻すような電界を形成する(図4参照)。これにより、光電面16内の全領域(有効径16mm)から放出された電子 $e^-$ がデッド層で均一にエネルギーを失うことになるので、当該電子管の、電子数の弁別能力を高く維持することができる。

【0034】さらに、上記コリメータ電極8は、上述の効果をさらに増強すべく、図7に示されたように、その貫通孔800の断面積(管軸方向AXに対して垂直な平面によって定義される該貫通孔800の面積)が、光電面16からステム10に向かって小さくなっている。換言すれば、コリメータ電極8における貫通孔800の光電面側開口80の面積S3は、該コリメータ電極8における貫通孔800のステム側開口81の面積S4よりも大きい。

【0035】また、当該コリメータ電極8と半導体素子14の電子入射面との構造上の関係について言及すれば、該コリメータ電極8における貫通孔800のステム側開口81の面積S4は、後述する該半導体素子14の電子入射面の面積よりも小さい。すなわち、半導体素子14における電子入射面の有効面積よりも光電面から放出された電子が到達する領域の面積の方が小さくなっている。これにより、光電面16以外から偶発的に放出された電子が、半導体素子14の電子入射面以外に入射して、当該半導体素子14自体を劣化させたり(電子衝撃に起因した劣化)、不要な帯電を生じることがない。

【0036】なお、上記コリメータ電極8は、その全長が3.5mmのとき、貫通孔800の光電面側開口80の直径が3mmであり、該貫通孔800のステム側開口81の直径が2mmであることが好ましい(このとき、ステム側開口81の面積は、半導体素子14の電子入射面の面積よりも小さくなるよう設定される)。

【0037】ステム10は、中心に開口部を有するディ

スク形状の部材11(ステンレス)、該部材11の開口部にその一端が溶接固定されたステンレス・パイプ12、及び該ステンレス・パイプ12の他端を塞ぐディスク板13(コパル金属)から構成され、その形状は、光電面16に向かってガラスバルブ5の、第2の開口を有する端から突出した凸形状である。このステム10上(ディスク板13上)にボンディングされた半導体素子14が上述のコリメータ電極8を介して光電面16と反対側に配置される。さらに、ディスク板13には、半導体素子14からの出力信号を当該密閉容器の外部に出力するため、該ステム10と絶縁されたリードピン15が固定されている。

【0038】次に、図8及び図9を用いて、ステム10のディスク板13上に搭載された半導体素子14の構造を説明する。

【0039】この半導体素子14は、その電子入射面148が光電面16と対向するようステム10のディスク板13上に設置されている。この半導体素子14の後述する電極層146は、ディスク板13に設けられた貫通孔130を気密に挿通した金属製のリードピン15と、金属製のワイヤ18の端部をそれぞれボンディングすることにより、電気的に接続されている。半導体素子14の光電面側には、外部の電源回路910からリードピン15及びワイヤ18を介して所定の電圧が印加され、例えば電位約-150Vに保持されている。また、半導体素子14のディスク板13側は、上記電源回路910からステム10を介して電子レンズの印加電圧と同一の電圧を印加され、例えば電位約0Vに保持されている。これにより、半導体素子14は全体として逆バイアス電圧を印加されている。

【0040】なお、上記リードピン15は、半導体素子14から出力される検出信号(出力電流)を処理する処理回路900にコンデンサCを介して接続されている(図4参照)。また、ディスク板13の貫通孔130の内壁とリードピン15との間は、絶縁部材17が充填されている。さらに、当該半導体素子14において、光電子を受容して所定の増倍率で有効に増幅する電子入射面148の口径は、約3mmである。

【0041】図8に示されたように、この実施例では、上記半導体素子14としては、アバランシェ・ホトダイオード(以下、APDという)が利用されている。このAPD14は、n型の高濃度シリコン層である基板140を備え、該基板140の上には、その中央部分に、円板状でp型のキャリア増倍層141が形成されている。このキャリア増倍層141の外側であって、基板140上には該キャリア増倍層141と同じ厚さで高濃度n型層であるガードリング層142が形成されている。さらに、キャリア増倍層141上には、高濃度p型層である降伏電圧制御層143が形成されている。降伏電圧制御層143の周辺部分からガードリング層142に致る表

面側には、酸化膜144及び窒化膜145が形成されている。降伏電圧制御層143にアノード電位を供給するため、円環状にアルミを蒸着してアノード146（電極）が形成されている。また、該アノード146と間隙を持たせて、その周辺部分にガードリング層142と導通している周辺電極147を形成されている。

【0042】なお、このAPDの有効面（電子入射面148）はアノード146の内側部分で、直径3mmが好適である。また、このAPD14は、上述したように、樹脂149を介してディスク板13上にダイボンディングされている。該APD14のカソード電位はステム10を介して与えられる。

【0043】具体的には、APD14の基板140は、 $n^+$ 型のSiで形成された高濃度単結晶ウエハである。この半導体基板140は、厚みが約500 $\mu\text{m}$ であり、 $n$ 型ドーパントとしてP（リン）が濃度約 $10^{19}\text{cm}^{-3}$ でドーピングされている。なお、この半導体基板140の比抵抗は約0.01 $\Omega\cdot\text{cm}$ である。

【0044】上記キャリア増倍層141は、 $p$ 型のSiを半導体基板140上にエピタキシャル成長して形成された低濃度半導体層である。このキャリア増倍層141は、厚みが約10 $\mu\text{m}$ であり、 $p$ 型ドーパントとしてB（ボロン）が濃度約 $10^{14}\sim 10^{16}\text{cm}^{-3}$ でドーピングされている。なお、このキャリア増倍層141の比抵抗は約1 $\sim 100\Omega\cdot\text{cm}$ である。キャリア増倍層141のドーパント濃度は、降伏電圧に近い電圧を印加したときに半導体基板140との接合面から拡がる空乏層が降伏電圧制御層143に到達する値である。

【0045】なお、このキャリア増倍層141において良好な結晶性を保持してエピタキシャル成長させるため、該キャリア増倍層141の層厚 $d$ は、約5 $\mu\text{m}\sim$ 約50 $\mu\text{m}$ の範囲内に設定するのが好ましい。もし、層厚 $d$ が約50 $\mu\text{m}$ よりも大きい場合、層厚方向（ステム10に搭載された状態で管軸方向Lに一致している）のドーパント濃度の不均一性が顕著になるので、光電面16から放出された電子に対するアバランシェ増倍ゲインのユニフォミティをキャリアの発生位置に依存して劣化させてしまう。一方、層厚 $d$ が約5 $\mu\text{m}$ よりも小さい場合、半導体基板140から伸びて拡がる空乏層が薄くなるので、該電子に対する当該APD14のゲインを低減させてしまう。

【0046】ここで、上記層厚 $d$ を約10 $\mu\text{m}$ に設定される理由は、加速エネルギー約15keVで放出された電子の、APD14中への最大到達距離約3 $\mu\text{m}$ （APD14内に入射された該電子は、3.6eVのエネルギーを失うごとに電子-正孔対を1ケつつ生成する）と、後述するアバランシェ増倍領域の層厚約3 $\mu\text{m}$ とに対して、該電子に対するAPD14のゲインの揺らぎを最低限に押さえるためにそれぞれ若干の余裕を考慮したからである。

【0047】上記ガードリング層142は、 $n$ 型ドーパントをキャリア増倍層141の周辺部に熱拡散して形成された高濃度半導体層である。このガードリング層142は、その膜厚がキャリア増倍層141の層厚と同じ（約10 $\mu\text{m}$ ）であり、 $n$ 型ドーパントとしてPが半導体基板140のドーパント濃度と同じ濃度約 $10^{19}\text{cm}^{-3}$ でドーピングされている。

【0048】上記降伏電圧制御層143は、 $p$ 型ドーパントをキャリア増倍層141の表面中央領域に熱拡散して形成された高濃度半導体層である。この降伏電圧制御層143は、その層厚は約1 $\mu\text{m}$ であり、 $p$ 型ドーパントとしてBが半導体基板140のドーパント濃度と同じ濃度約 $10^{19}\text{cm}^{-3}$ でドーピングされている。この降伏電圧制御層143の表面中央部には、円形の電子入射面148が光電面16に対向して露出されている。なお、この電子入射面148の有効領域は、図9に示されたように、コリメータ電極8により、該電子入射面148の面積よりも小さい面積S5に制限されている。すなわち、入射された電子を受容可能な電子入射面148の口径は、上述したように約3mmであるのに対し、実際に電子が入射可能な領域の口径は2mm程度に制限される。

【0049】電子入射面148の周辺部に位置する降伏電圧制御層143の表面周縁部上の大部分と、ガードリング層142の表面全体上とは、2種類の絶縁層144、145が順次積層して形成されている。絶縁層144は、Siの酸化物で形成された絶縁性薄膜である。この絶縁層144の層厚は約200nmである。絶縁層145は、Siの窒化物で形成された絶縁性薄膜である。この絶縁層145の層厚は約50nmである。

【0050】なお、絶縁層144は、ガードリング層142及び降伏電圧制御層143を形成する際にキャリア増倍層141の結晶性を良好に保持するために、予めキャリア増倍層141の表面領域を酸化させて形成される。また、絶縁層145は、光電面16を形成する際にキャリア増倍層141、ガードリング層142及び降伏電圧制御層143の半導体特性を劣化させないために、絶縁層144上に堆積させて形成される。

【0051】上記絶縁層145上には、円環状のオーミック電極層146が形成されており、絶縁層144、145の側壁に沿って降伏電圧制御層143の表面周縁部に接触している。このオーミック電極層146は、Al（アルミニウム）で形成された金属薄膜であり、降伏電圧制御層143に対して良好なオーミック接触性を有している。

【0052】なお、上述したように、このオーミック電極層146は、ワイヤ18のボンディングによって外部の電源回路910から導電性リードピン15を介して所定の電圧が印加され、例えば-150Vの負電位に保持されている。また、半導体基板140は、ステム10上に設置され外部の電源回路910から所定の電圧を印加

され、例えば0Vのグラウンド(GND)電位に保持されている。これにより、 $n^+$ 型の半導体基板140と $p^+$ 型の降伏電圧制御層143との間に、すなわちキャリア増倍層141に空乏層がアバランシェ増倍領域として生成される。

【0053】このように構成された電子管の光電面16、カソード電極3には-15kV、アノード電極6には0V(グラウンド電位)が外部の電源回路910から印加される。このとき、カソード電極3、アノード電極6、及びコリメータ電極8は電子レンズを形成し、有効径16mmの光電面16から放出された電子流を、コリメータ電極8における貫通孔800のステム側開口81の面積よりも小さい、直径1.5mmまで収束させ、APD14の電子入射面148に入射させる。APD14のアノード146には、上述したように、約50倍のアバランシェ増倍ゲインが得られるように、-150Vが印加される。また、このAPD14のカソード(ステム10が該カソードとして機能している)は0Vが与えられる。

【0054】ここで、入射面1を介して光が入射すると、光電面16から真空中に電子が放出される。この放出された電子は、電子レンズにより加速されるとともに、収束され、15keVのエネルギーを有してAPD14の電子入射面148に入射される。電子入射面148に入射された該電子は、APD14内で3.6eVのエネルギーを失うごとに電子-正孔対を1ヶつつ生成するので、この最初の増倍過程で約 $4 \times 10^3$ 倍(該入射電子のアバランシェ増倍領域に到達するまでの電子照射ゲイン)程度増倍される。さらに、これらのキャリアがアバランシェ増倍領域を通過して半導体基板140に到達するまでのアバランシェ増倍ゲインは、約50である。これにより、APD14の全体として入射電子に対する二次電子のゲインは、 $2 \times 10^5$ 程度に達する。

【0055】この発明に係る電子管では、上述したように、初段の増倍率が4000と従来の電子管に比べて約3桁高いので、S/Nの非常によい検出が可能である。現に、発明者らは、非常に微弱なパルス光が入射して、平均4電子程度が光電面から放出されたとき、従来の電子管では、弁別できなかった入力電子数(入射光子数に換算できる)を、この発明に係る電子管により弁別できることを確認した。この発明に係る電子管で得られる、このような特性は、生体微量物質から放出される蛍光を定量的に観察する際に非常に有効である。

【0056】なお、光電面16に-15kVという高圧を印加しても、電子管内で放電が発生しないことは重要である。ここでいう放電とは、光電面16や半導体素子14を破壊してしまう激しい放電のみならず、これらには危害を与えないような微弱な放電も含む。特に、微弱な放電も発光を伴うことが多く、該放電により発生した光が任意の経路で光電面16に戻り、結果として、疑似

信号(ノイズ)を発生してしまうからである。

【0057】この発明に係る電子管は、高圧を維持する絶縁体であるガラスバルブ5の縁面距離(該ガラスバルブ5の管軸方向AXの長さ)を極力長くするように24mmに設定している。また、電界が集中して放電のトリガとなるカソード電極3の先端部分を、帯電によって電位が不安定になるガラスバルブ5の内壁502から離している(図2及び図4参照)。すなわち、カソード電極3は、光電面16から半導体素子14に向かってその外径が小さくなる形状を有している。さらに、カソード電極3の先端部分は電界の集中を避けるために、曲率半径1mmの半円形の断面形状としている(図6参照)。以上の構成によって、この発明に係る電子管は、高電圧を印加するとき発生しやすい微弱な放電を回避するための構造を実現している。

【0058】この発明に係る電子管は、さらに、時間特性に着目して、カソード電極3とアノード電極6とを互いに近づけている。すなわち、カソード電極3はアノード電極6に向かって突出した形状を有し、該アノード電極6はカソード電極3に向かって突出した形状を有する。これは、各電極3、6を接近させることにより、光電面16から放出された電子を十分に加速させる電界強度を確保するためである。また、このように電極3、6を接近させることは、電極間の真空放電が絶縁物の縁面放電に比べて発生しにくいという経験則に基づいており、実際にこの距離は耐圧を制限していない。さらに、時間特性の観点より、光電面16から半導体素子14までの光電子の走行距離、走行時間を短縮することを目的として、半導体素子14も光電面16に近づけられている。これらの構造により、光電面16から半導体素子14までの走行時間揺らぎを小さくして、50ps(ピコ・セカンド)程度の時間特性を実現している。

【0059】以上のように、カソード電極3とアノード電極6を接近させることは、また、絶縁性材料からなるガラスバルブ5の、真空中を走行する電子への影響を除去する効果もある。すなわち、該ガラスバルブ5は、真空中を迷走する電子やイオンのために帯電して、様々な電位を取り得る。したがって、ガラスバルブ5の内壁502が電子軌道に対して露出した構造であると、該帯電による影響を受けて出力電流が不安定になり、当該電子管はドリフト特性が劣化する。

【0060】この発明に係る電子管では、上述したように、カソード電極3の一部をアノード電極6に向かって突出させるとともに、該アノード電極6の一部をカソード電極3に向かって突出させることにより、各電極3、6を接近させた構造を備える。換言すれば、図10に示されたように、カソード電極3における貫通孔300のステム側開口32、及びアノード電極6における開口部600それぞれは、ガラスバルブ5の第1の開口500と第2の開口501によって定義される、該ガラスバル



ブ5の内部空間503内に位置している。このように構成することにより、カソード電極3からアノード電極6に向かう電子に対して直接露出された、該ガラスバルブ5の内壁502は最小限(図中L2で示された領域)に制限されるので、リードピン15を介して得られる出力電流が安定する。

【0061】また、コリメーター電極8(0V)は、電子入射面148(-150V)に対して正の電圧が印加されているので、電子入射面148から光電面16に戻るイオンを抑制することができる。ここで抑制されるイオンは、半導体素子14の電子入射面148に吸着していた分子・原子状のガスであり、入射した一次電子によって電子がはじき出され、正にイオン化したものである。これらのイオンは、電子入射面148とコリメーター電極8との間に、正イオンにとつての逆バイアスが印加されているので、該コリメーター電極8を通り抜けて、光電面16に戻ることはできない。

【0062】このように、イオンが光電面16に戻らないという特性は重要である。すなわち、当該電子管では、光電面16と半導体素子14間に高電圧が印加されているために、光電面16に戻るイオンは同様の高いエネルギーを持って戻ることになり、光電面16に破壊的なダメージを与えるからである。したがって、光電面16に戻るイオンを抑制できないときには、光電面16の寿命、即ち、当該電子管の寿命は著しく短縮されてしまう。

【0063】

【発明の効果】以上のようにこの発明によれば、絶縁性材料であるガラスバルブの縁面距離を充分とり、かつ、カソード電極の外径が半導体素子に向かうにしたがって小さくなっている。この構成により、該ガラスバルブの帯電を抑え、該カソード電極とガラスバルブ間での間欠的な放電の発生を回避できるので、当該電子管に充分に高い電圧を安定して印加することが可能になる。

【0064】また、アノード電極をカソード電極に近接させ、該各電極間を走行する電子に対して直接露出した部分を最小限にするよう、ガラスバルブの内壁を該各電極で該電子と内壁とを遮蔽しているのので、時間特性がよく、該ガラスバルブは帯電の影響も受けにくくなり、当該電子管の長時間の安定した動作を実現することができる。

【0065】さらに、コリメーター電極の機能により光電面から放出された電子も半導体素子に垂直に入射するので、電子数の高い弁別能力を有する電子管が得られるという効果もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る電子管全体の組立工程を示す図

である。

【図2】この発明に係る電子管の構造を示す一部破断斜視図である。

【図3】図2に示された電子管における絶縁容器(内部は真空状態)の封止構造を示す図である。

【図4】この発明に係る電子管の構造を示す断面図であり、図2に示されたD-D線に沿ってその断面構造を示す図である(光電面形成後)。

【図5】図4に示された断面図の一部を示す図であり、アノード電極へのコリメーター電極の取り付け構造を説明するための図である。

【図6】この発明に係る電子管におけるカソード電極の構造を示す断面図、光電面側から該カソード電極を見た平面図、及びステム側から該カソード電極を見た平面図である。なお、この図におけるカソード電極の断面構造は、図1に示されたA-A線に沿って示された断面構造と一致している。

【図7】この発明に係る電子管におけるコリメーター電極の構造を示す断面図、光電面側から該コリメーター電極を見た平面図、及びステム側から該コリメーター電極を見た平面図である。なお、この図におけるアノード電極の断面構造は、図1に示されたC-C線に沿って示された断面構造と一致している。

【図8】図4に示された断面図の一部を示す図であり、ステムに搭載されたアバランシェ・ホトダイオード(半導体素子)の詳細構造を示す図である。

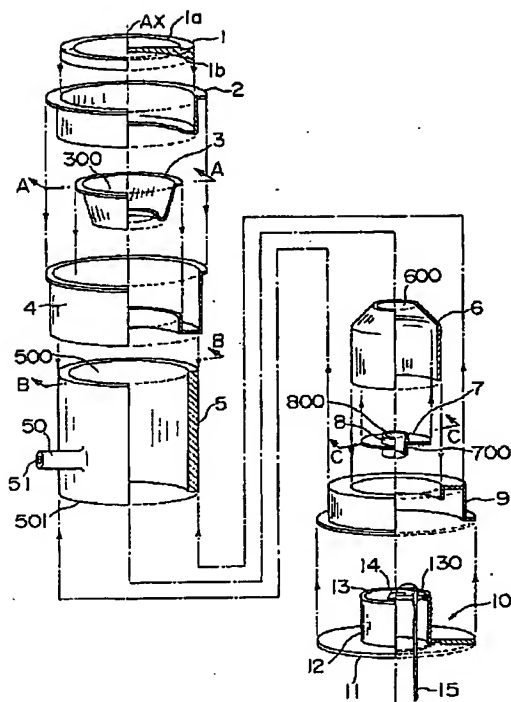
【図9】図8に示された半導体素子の電子入射面とその有効領域との関係を説明するための図であり、光電面側から該半導体素子を見た平面図である。

【図10】この発明に係る電子管におけるガラスバルブ(絶縁容器)の構造を示す断面図であり、図1に示されたB-B線に沿ってその断面構造を示す図である。

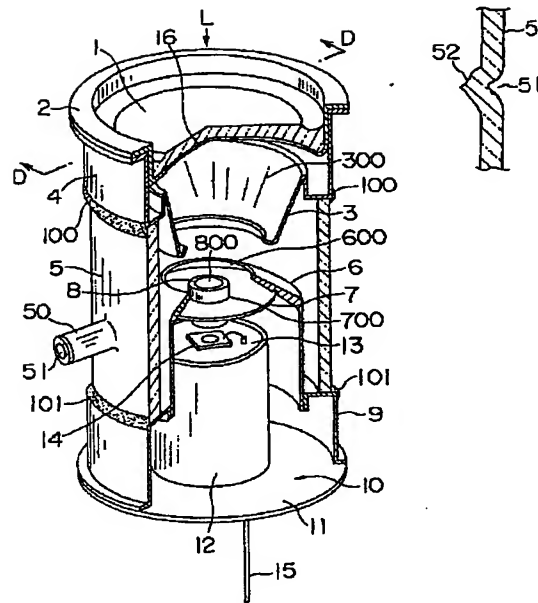
【符号の説明】

1…入射面板、2、4、9…フランジ、3…カソード電極、5…ガラスバルブ、6…アノード電極、7…遮蔽板、8…コリメーター電極、10…ステム、14…APD(アバランシェ・ホトダイオード)、16…光電面、30…カソード電極3の光電面側開口、32…カソード電極3のステム側開口、80…コリメーター電極8の光電面側開口、81…コリメーター電極8のステム側開口、148…電子入射面、300…カソード電極3の貫通孔、500…ガラスバルブ5の第1の開口、501…ガラスバルブ5の第2の開口、502…ガラスバルブ5の内壁、503…ガラスバルブ5の内部空間、600…アノード電極6の開口部、700…金属遮蔽板7の開口部、800…コリメーター電極8の貫通孔。

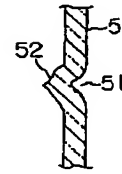
【図1】



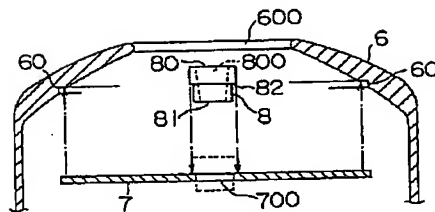
【図2】



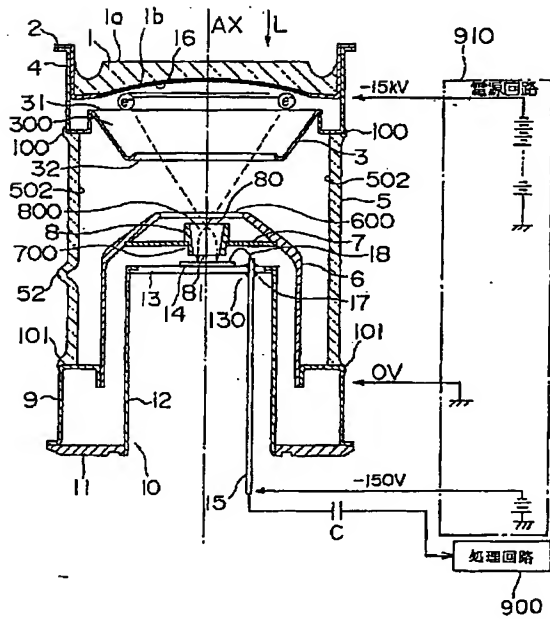
【図3】



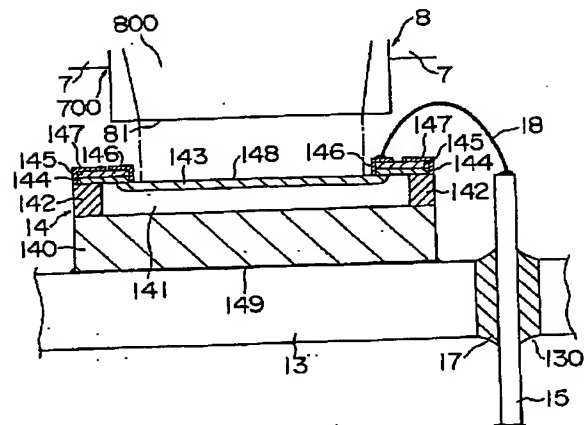
【図5】



【図4】

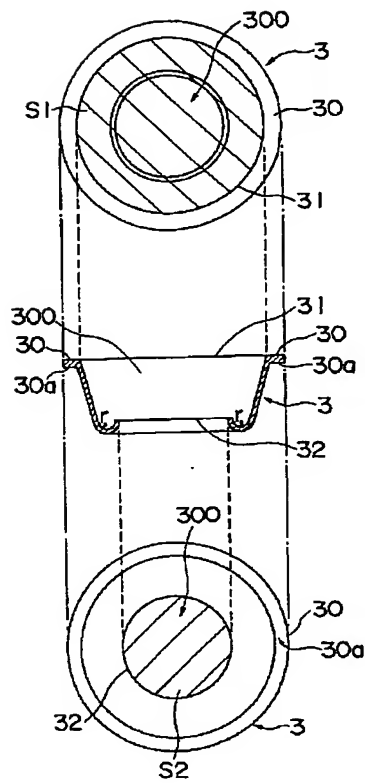


【図8】

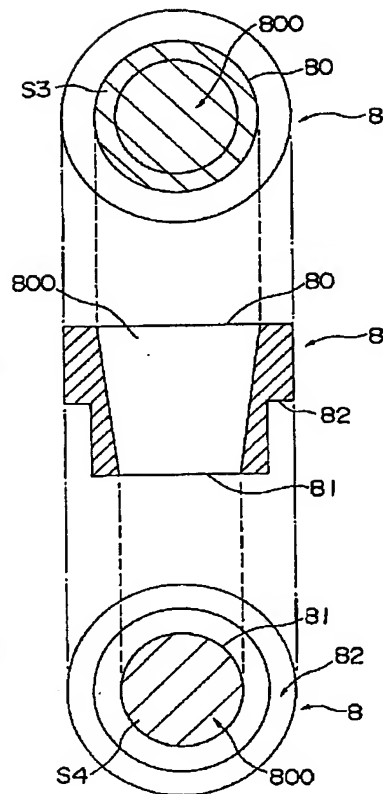




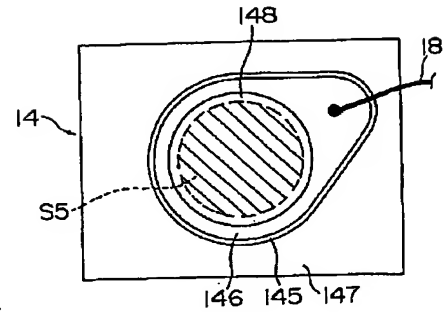
【図6】



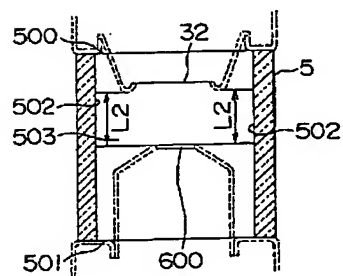
【図7】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 平野 賢  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72)発明者 朝倉 憲夫  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72)発明者 森田 哲家  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**